

การศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติบางประการของฟิล์มคีแตม

STUDY OF CHITAM FILMS PRODUCTION AND SOME OF IT'S PROPERTIES

พรพฐ อัดแอ

Pornpatu Adair

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-AI-M-053-340

การศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติบางประการของฟิล์มคีแตม

STUDY OF CHITAM FILMS PRODUCTION AND SOME OF IT'S PROPERTIES

พรพฐ อัดแอ

Pornpatu Adair

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-AI-M-053-340

STUDY OF CHITAM FILMS PRODUCTION AND SOME OF IT'S PROPERTIES

Pornpatu Adair

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2019

KMITL-2019-AI-M-053-340

COPYRIGHT 2019

AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติบางประการของฟิล์มคีแตม
นักศึกษา	นางสาวพรพฐ อัดแอ
รหัสประจำตัว	60608029
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. วุฒิชัย นาครัถยา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาอิทธิพลของไซโลกลูแคนและกลีเซอรอลที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูแคนและโคโคซานของฟิล์มคีแตม โดยใช้ไซโลกลูแคน 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 กรัม ตามลำดับ ต่อโคโคซาน 0.25 กรัม และใช้กลีเซอรอล 25, 30 และ 35% (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด) เป็นพลาสติกไซเซออร์ จากศึกษาการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรด (Acid Hydrolysis) ของไซโลกลูแคนและศึกษาการเกิดหมู่แอลดีไฮด์ของไซโลกลูแคน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณไซโลกลูแคนและเวลาที่ไซในการผสมไซโลกลูแคนกับกรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 4% ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดของไซโลกลูแคนเพิ่มมากขึ้น ($p \leq 0.05$) ซึ่งจากการทดสอบด้วยวิธีเบนดิซจะพบการเกิดหมู่แอลดีไฮด์ (-CHO) ของไซโลกลูแคนปรากฏขึ้น จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นสามารถยืนยันได้ว่ากรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 4% สามารถไฮโดรไลซ์ไซโลกลูแคนได้จริง

จากการศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูแคนและโคโคซานในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มคีแตม โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของไซโลกลูแคนจะทำให้ฟิล์มที่ผลิตได้มีสัดส่วนความเป็นผลึก (crystalline) เพิ่มมากขึ้น เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC พบว่า ปริมาณของไซโลกลูแคนที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้เอนทัลปีที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึกมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR พบว่า ฟิล์มคีแตมมีพีคในช่วง Wavenumbers 1635.37 cm^{-1} ถึง 1636.84 cm^{-1} ปรากฏ แสดงให้เห็นถึงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนคีแตม ซึ่งเมื่อดูภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะพบว่า พื้นผิวของฟิล์มคีแตมจะมีลักษณะขรุขระ ซึ่งปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มมากขึ้นไม่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของคีแตม

การศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มคีแตมที่ผลิตได้ ด้านความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มคีแตม (Tensile strength and elongation at break) พบว่า ปริมาณของไซโลกลูแคนและกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ฟิล์มคีแตมมีความสามารถในการต้านแรงดึงขาด

และสามารถในการยึดตัวเพิ่มมากขึ้น ($p \leq 0.05$) ซึ่งปริมาณของไซโลกลูแคนที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มคิแตรมีแวนโน้มลดลง ($p \leq 0.05$) แต่การเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลไม่มี ผลทำให้ฟิล์มคิแตรที่ผลิตได้มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapour transmission rate) มีความ แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และเมื่อนำฟิล์มคิแตรมาวิเคราะห์หาปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมดพบว่า ฟิล์มคิแตร ที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อโคโคซานเป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 โดยเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% ตามลำดับ (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด) พบการเจริญของจุลินทรีย์น้อยกว่า 30 CFU/g ซึ่ง ชี้ให้เห็นว่าฟิล์มดังกล่าวมีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ที่ดี

Thesis	Study of chitam films production and some of it's properties.
Student	Miss. Pronpatu Adair
Student ID.	60608029
Program	Food Science
Degree	Master of Science
Year	2019
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Woatthichai Narkrugsa

ABSTRACT

This research aims to study the influence of xyloglucan and glycerol the formation of a complex between xyloglucan and chitosan of chitam film by using 0.25, 0.50, 0.75 and 1.00 g of xyloglucan respectively per chitosan 0.25 g and by adding 25, 30 and 35% glycerol (w/w total solid weight) into each films production. From study the formation of hydrolysis by acid (Hydrolysis acid) of xyloglucan and the formation of aldehyde group of xyloglucan found that, when increase the amount of xyloglucan and add acetic acid at 4 % concentration to mixing it, that effect to get more chance to hydrolyze by acid of xyloglucan ($p \leq 0.05$). Consequently, the test of the Benedict method found the formation of aldehyde group ($-CHO$) of xyloglucan. The result of this experiment confirm that acetic acid at 4 % concentration can hydrolyze xyloglucan.

From study of the formation between xyloglucan and chitosan during chitosan film production by X-ray diffraction (XRD) results that, increasing the amount of xyloglucan can increase the proportion of crystalline and amorphous components. Furthermore, analysis with the differential scanning calorimeter (DSC) result that, increasing the amount of xyloglucan effects to the enthalpy of fusion can be increased. In addition, using the fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) results that all of chitam films had peak time in the period of wavenumbers 1635.37 cm^{-1} to 1636.84 cm^{-1} , It shows the complex compounds of chitam. In short, using scanning electron microscope (SEM) found that the surface of chitam film has rough, so increasing the amount of glycerol that is not effect to complex compounds of chitam.

The research of some properties of the chitam film output, in the part of tensile strength and elongation at break results that, increasing the amount of xyloglucan and glycerol can increase efficiency of tensile strength and elongation ($p \leq 0.05$), increasing the amount of xyloglucan can effect to the rate of water vapor permeability tend to be decreased ($p \leq 0.05$). On the other hand, increasing the amount of glycerol is not effect to the film output, the rate of water vapor permeability will be differenced ($p > 0.05$). Finally, bring the film to measurement of the quantity of the total microorganism result that chitam film at the ratio of xyloglucan : chitosan (1:1, 2:1, 3:1 and 4:1) by adding glycerol at 25%, 30% and 35% respectively (weight / weight of total solids) found the growth of microorganism has less than 30 CFU/g, which indicates that the film has good antimicrobial ability.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากหลายท่าน ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา ที่ให้เกียรติมาเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำปรึกษา ถ่ายทอดความรู้ แนวคิด ให้ข้อเสนอแนะในการดำเนินการ และดูแลเอาใจใส่ในการทำวิทยานิพนธ์อย่างใกล้ชิด รวมถึงการตรวจสอบแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. ระจิตร สุวพานิช และ ดร. พงษ์เสวีรัฐ ศรีพรหม อาจารย์ประจำคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง และ รศ.ดร. วรณา ตั้งเจริญชัย เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจทานแก้ไข ชี้แนะต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ บริษัท ปิ่นเพชร จำกัด จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่ให้การสนับสนุน ไซโลกลูแคน ตลอดระยะเวลาของการดำเนินงานวิจัยเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง

ขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการของคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนสถานที่เพื่อใช้ในการทดลอง และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือต่างๆ รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่คอยช่วยเหลือ สนับสนุน และเป็นกำลังใจที่สำคัญมาโดยตลอด

พรพฐ อัดแอ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 มะขาม.....	5
2.2 ไช้โลกอุคน.....	6
2.3 ไคติน.....	11
2.4 ไคโตซาน.....	12
2.5 คีแตม.....	17
2.6 กลีเซอรอล.....	19
บทที่ 3 วัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการทดลอง.....	23
3.1 วัตถุประสงค์.....	23
3.2 สารเคมี.....	23
3.3 เครื่องมือวิเคราะห์และอุปกรณ์.....	24
3.4 วิธีการดำเนินงาน.....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	31
4.1 ผลการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Acid Hydrolysis) ที่พันธะ- ไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ของไซโลกลูแคน และผลการศึกษาการเกิด หมู่แอลดีไฮด์ของไซโลกลูแคน.....	31
4.2 ผลของไซโลกลูแคนและกลีเซอรอลที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ระหว่างไซโลกลูแคนและโคโคซานในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มคีแตม.....	34
4.3 ผลการศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มคีแตมที่ผลิตได้.....	45
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	52
ข้อเสนอแนะ.....	53
บรรณานุกรม.....	54
ภาคผนวก.....	59
ก การผลิตฟิล์มคีแตม.....	60
ข การวิเคราะห์ทางกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์.....	64
ประวัติผู้วิจัย.....	73

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	องค์ประกอบทางเคมีของผงเมทัลลิกอะลูมิเนียม..... 6
2.2	ตัวอย่างการนำโซโลกูแคนไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ..... 10
2.3	สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล..... 21
3.1	อัตราส่วนของโซโลกูแคนต่อโคโคซานที่ใช้ในการผลิตฟิล์มคิเดม..... 25
4.1	ผลของปริมาณโซโลกูแคนและเวลาที่ใช้ในกวนคนสารละลายโซโลกูแคนที่ละลายอยู่ในสารละลายกรดอะซิติก 4% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่มีผลต่อปริมาณการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ของโซโลกูแคน..... 31
4.2	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซโลกูแคนและเวลาที่ใช้ในกวนคนสารละลายโซโลกูแคนที่ละลายอยู่ในสารละลายกรดอะซิติก 4% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่มีผลต่อปริมาณการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ของโซโลกูแคน..... 32
4.3	ผลการเกิดตะกอนสีแดงอิฐของคิวพรัสออกไซด์ (Cu_2O) ของโซโลกูแคนและโคโคซานที่ละลายอยู่ในสารละลายกรดอะซิติก 4% (ปริมาตร/ปริมาตร)..... 33
4.4	ลักษณะพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ระดับกำลังขยาย 1000 เท่า ของฟิล์มคิเดมที่อัตราส่วนของโซโลกูแคนต่อโคโคซานต่างๆ โดยเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% ตามลำดับ (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)..... 44
4.5	ค่าความหนาของฟิล์มที่อัตราส่วนของโซโลกูแคนต่อโคโคซานต่างๆ..... 45
4.6	ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มคิเดมที่อัตราส่วนของโซโลกูแคนต่อโคโคซานต่างๆ โดยเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% ตามลำดับ (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)..... 46
4.7	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของโซโลกูแคนต่อโคโคซานและปริมาณกลีเซอรอลที่มีผลต่อค่าความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มคิเดม..... 47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
4.8	ผลการวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มกึ่งแฉกที่อัตราส่วนไซโลกลู- แคนต่อโคโคซานต่างๆ โดยเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% ตามลำดับ (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด).....	49
4.9	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อโคโคซานและ ปริมาณ กลีเซอรอลที่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มกึ่งแฉก.....	49
4.10	ผลการตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ปนเปื้อนในฟิล์มกึ่งแฉกที่อัตราส่วน ไซโลกลูแคน ต่อโคโคซานต่างๆ โดยเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% ตามลำดับ (น้ำหนัก/ น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด).....	50

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของไซโลกลูแคนที่สกัดได้จากผงเมล็ดมะขาม.....	7
2.2	คือโครงสร้างสายโซ่หลักของไซโลกลูแคน และภาพ ข) คือกลูโคสที่มีใน 3 โครงสร้าง oligomer ของไซโลกลูแคน.....	7
2.3	โครงสร้างของไคติน.....	11
2.4	โครงสร้างของเซลลูโลส.....	13
2.5	ความสัมพันธ์ทางโครงสร้างระหว่าง ก) ไคติน และ ข) ไคโตซาน.....	13
2.6	กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไซโลกลูแคน โดยใช้โซเดียมเพอร์ไอโอเดต (NaIO ₄).....	17
2.7	กลไกการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูแคนและไคโตซาน.....	18
2.8	โครงสร้างทางเคมีและแบบจำลอง 3 มิติ ของโมเลกุลของกลีเซอรอล.....	20
3.1	ขั้นตอนการผลิตฟิล์มคีแตม.....	27
4.1	ผลการเกิดตะกอนสีแดงอิฐของคิวพรัสออกไซด์ (Cu ₂ O) ของ ก.) ไคโตซาน ข.), ค.), ง.) และ จ.) ไซโลกลูแคน 0.25 ก., 0.50 ก., 0.75 ก. และ 1.00 ก. ตามลำดับ ที่ เวลา 0 นาที.....	34
4.2	ผลการเกิดตะกอนสีแดงอิฐของคิวพรัสออกไซด์ (Cu ₂ O) ของ ก.) ไคโตซาน ข.), ค.), ง.) และ จ.) ไซโลกลูแคน 0.25 ก., 0.50 ก., 0.75 ก. และ 1.00 ก. ตามลำดับ ที่ เวลา 30 นาที.....	34
4.3	X-ray diffraction pattern ของ ก) ไคโตซาน ข) ไซโลกลูแคน ค) อัตราส่วนของ ไซ โลกลูแคนต่อไคโตซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 และ ฉ) 4:1 ตามลำดับ โดยเติม กลีเซอรอล 25% (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด).....	35
4.4	X-ray diffraction pattern ของ ก) ไคโตซาน ข) ไซโลกลูแคน ค) อัตราส่วนของ ไซ โลกลูแคนต่อไคโตซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 และ ฉ) 4:1 ตามลำดับ โดยเติม กลีเซอรอล 30% (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด).....	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.5	X-ray diffraction pattern ของ ก) ไคโตซาน ข) ไช้โลกภูแคน ค) อัตราส่วนของ ไช้โลกภูแคนต่อไคโตซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 และ ฉ) 4:1 ตามลำดับ โดยเติมกลีเซอรอล 35% (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด).....	36
4.6	เทอร์โมแกรมแสดงพีคการหลอมตัวของผลึกของ ก) ไช้โลกภูแคน ข) ไคโตซาน ค) อัตราส่วนของไช้โลกภูแคนต่อไคโตซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 and ฉ) 4:1 ตามลำดับ โดยเติมกลีเซอรอล 25 % (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด).....	37
4.7	เทอร์โมแกรมแสดงพีคการหลอมตัวของผลึกของ ก) ไช้โลกภูแคน ข) ไคโตซาน ค) อัตราส่วนของไช้โลกภูแคนต่อไคโตซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 and ฉ) 4:1 ตามลำดับ โดยเติมกลีเซอรอล 30 % (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด).....	38
4.8	เทอร์โมแกรมแสดงพีคการหลอมตัวของผลึกของ ก) ไช้โลกภูแคน ข) ไคโตซาน ค) อัตราส่วนของไช้โลกภูแคนต่อไคโตซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 and ฉ) 4:1 ตามลำดับ โดยเติมกลีเซอรอล 30 % (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด).....	39
4.9	FTIR spectra ของ ก) ไคโตซาน ข) ไช้โลกภูแคน ค) อัตราส่วนของไช้โลกภูแคนต่อไคโตซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 และ ฉ) 4:1 ตามลำดับ โดยเติมกลีเซอรอล 25 % (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด).....	41
4.10	FTIR spectra ของ ก) ไคโตซาน ข) ไช้โลกภูแคน ค) อัตราส่วนของไช้โลกภูแคนต่อไคโตซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 และ ฉ) 4:1 ตามลำดับ โดยเติมกลีเซอรอล 30 % (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด).....	42
4.11	FTIR spectra ของ ก) ไคโตซาน ข) ไช้โลกภูแคน ค) อัตราส่วนของไช้โลกภูแคนต่อไคโตซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 และ ฉ) 4:1 ตามลำดับ โดยเติมกลีเซอรอล 35 % (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด).....	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

มะขาม (*Tamarindus indica* L.) เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ อยู่ในตระกูล Fabaceae (Leguminosae) เจริญเติบโตในประเทศต่างๆ มากกว่า 50 ประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศในแถบเอเชีย เช่น อินเดีย บังคลาเทศ ศรีลังกา ไทย และอินโดนีเซีย (Kumar and Bhattacharya, 2008) ประเทศไทยเป็นแหล่งเพาะปลูกมะขามขนาดใหญ่ มีอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับมะขามเป็นจำนวนมาก ซึ่งในอุตสาหกรรมแปรรูปมะขามส่วนใหญ่จะใช้เฉพาะส่วนของเนื้อมะขามและเปลือกส่วนของเมล็ดมะขามเป็นของเหลือทิ้ง เนื้อในเมล็ดมะขามในส่วนของเอนโดสเปิร์มจะใช้ผลิตผงเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel powder: TKP) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของผงเมล็ดมะขามประกอบด้วยพอลิแซคคาไรด์ 50–60% โดยพอลิแซคคาไรด์หลักที่พบ คือ ไซโลกลูแคน (xyloglucan) หรือที่เรียกกันว่า เจลโลส (jellose) หรือพอลิโอส (Polyose) (Marathe *et al.*, 2002) นอกจากนี้ยังมีพอลิแซคคาไรด์ชนิดอื่นๆ เช่น เจลแลน แซนแทนกัม คาร์ทิซิน เป็นต้น (Nishinari *et al.*, 2009)

ไซโลกลูแคน (Xyloglucan) หรือเจลโลส (Jellose) หรือพอลิโอส (Polyose) (Marathe *et al.*, 2002) เป็นพอลิแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในผนังเซลล์ของพืช (Nisbet *et al.*, 2006; Nishinari *et al.*, 2007) โครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายหลัก โดยที่พันธะ β -1,4 เชื่อมกับ D-glucan และมีสายกิ่งเป็นน้ำตาลไซโลส ซึ่งตำแหน่ง O-6 ของ glucopyranosyl residue ถูกแทนที่ด้วย α -D-xylopyranose และมีกิ่งของน้ำตาลกาแล็กโทสจับกับกิ่งของน้ำตาลไซโลส (Shirakawa *et al.*, 1998; Yamanaka *et al.*, 2000; Marathe *et al.*, 2002 ; Nisbet *et al.*, 2006) ไซโลกลูแคนเริ่มมีการผลิตเพื่อการค้าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1943 โดยนำไซโลกลูแคนมาใช้เพื่อเพิ่มความต้านทานการซึมผ่านของเหลวหรือเป็นสารกันซึมในอุตสาหกรรมเส้นใยในประเทศอินเดีย (Marathe *et al.*, 2002) ซึ่งไซโลกลูแคนมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูงและละลายน้ำได้ดี มีความคงตัวต่อความร้อน ความเป็นกรดด่าง และแรงเฉือน จึงทำให้ไซโลกลูแคนถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ (El-Sidding *et al.*, 2006) อาทิเช่น เป็นสารให้ความข้นหนืด สารให้ความคงตัว สารทดแทนไขมัน หรือเป็นแป้งตัดแปรเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการไหลและความร้อนของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ไอศกรีม น้ำสลัดมายองเนส เส้นก๋วยเตี๋ยว และสตูว์ เป็นต้น (Kumar and Bhattacharya, 2008; El-Sidding *et al.*, 2006)

ไคตินเป็นส่วนประกอบหลักในเปลือกของสัตว์ในคลาสครัสเตเชีย เช่น กุ้ง ปู และล็อบสเตอร์ นอกจากนี้ยังพบในระบบโครงกระดูกภายนอกของสัตว์น้ำไฟลัมมอลลัสกาและแมลง รวมถึงผนังเซลล์ของเชื้อราบางชนิด ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมประมง (Yeul and Rayalu, 2013; Bhuiyan *et al.*, 2013)

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคติน มีชื่อทางเคมีว่า Poly-B(1,2)-2-deoxy-D-glucose ในการผลิตเชิงพาณิชย์จะกำจัดหมู่อะซิติก ($-\text{COCH}_3$) ของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine ออกจากสายของไคติน ตั้งแต่ 50% ขึ้นไป (Aranaz *et al.*, 2009) หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยา Deacetylation คือ เปลี่ยนน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เป็น Glucosamine โดยแซ่ไคตินในสารละลายต่างเข้มข้น (Dutta *et al.*, 2004) เกิดเป็นไคโตซานที่มีโครงสร้างที่ Active พร้อมจะทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว ไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ไม่ละลายน้ำ และเนื่องจากมีหมู่เอมิโน ($-\text{NH}_2$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ทำให้ไคโตซานสามารถละลายได้ในสารละลายกรดอ่อน (Kumar, 2000) นอกจากนี้ยังมีประจุบนสายโมเลกุลจึงสามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติ โดยไม่ก่อให้เกิดการตกค้างหรือเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และยังมีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดี ทำให้วัสดุเหล่านี้เหมาะที่จะนำมาเป็นวัสดุทางเลือกในอุตสาหกรรมผลิตโพลีเมอร์สังเคราะห์ (Tan *et al.*, 2009; Croisier and Jerome, 2013)

สำหรับคำว่า “คีแตม (Chitam)” นั้นมาจากคำ 2 คำรวมกันคือ คี (Chi) มาจากคำว่า Chitosan และแตม (Tam) มาจากคำว่า Tamarind ซึ่งคีแตมเกิดจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างหมู่แอลดีไฮด์ ($-\text{CHO}$) ของไซโลกลูแคนและหมู่เอมิโน ($-\text{NH}_2$) ของไคโตซานเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ Simi, 2009

จากการศึกษาของพรพฐ และคณะ (2559) ที่ได้ศึกษากระบวนการผลิตฟิล์มคีแตมและคุณสมบัติบางประการของฟิล์มคีแตม โดยใช้กลีเซอรอล 25 % (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด) เป็นพลาสติกไซเซอร์ พบว่าฟิล์มคีแตมที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อไคโตซานที่ 4:1 มีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ที่ดี แต่ยังคงมีความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มน้อย เพื่อปรับปรุงฟิล์มคีแตมที่ผลิตได้ให้มีความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มเพิ่มมากขึ้น และเพื่อนำของเหลือทิ้งเหล่านี้มาเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้จริง โดยนำไซโลกลูแคนที่สกัดได้จากเมล็ดมะขามและไคโตซานซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคตินมารวมกันเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า คีแตม

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลของไซโลกลูแคนและกลีเซอรอลที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูแคนและไคโตซานในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มคีแตม และศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มคีแตมที่ผลิตได้ อาทิเช่น ความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มคีแตม (tensile strength and elongation at break), อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate) และความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial activity) เป็นต้น โดยใช้ไซโลกลูแคน 0.00 กรัม, 0.25 กรัม, 0.50 กรัม, 0.75 กรัม และ 1.00 กรัม ตามลำดับ ต่อไคโตซาน 0.25 กรัม และเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% (น้ำหนัก/น้ำหนักของของ

แข็งทั้งหมด) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอรในกระบวนการผลิตฟิล์มคีแถมแต่ละชนิด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของไซโลกลูเคนและกลีเซอรอลที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูเคนและโคโคซานในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มคีแถม

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มคีแถมที่ผลิตได้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของไซโลกลูเคนและกลีเซอรอลที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูเคนและโคโคซานในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มคีแถมกระบวนการผลิตฟิล์มคีแถมและศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มคีแถมที่ผลิตได้ โดยจัดตั้งการทดลองแบบแฟกทอเรียลลงในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Factorial Experiment in CRD) ซึ่งมีปัจจัยในการศึกษา 2 ปัจจัย คือ ไซโลกลูเคน แบ่งออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ไซโลกลูเคน 0.00 กรัม, 0.25 กรัม, 0.50 กรัม, 0.75 กรัม และ 1.00 กรัม (น้ำหนัก/ปริมาตร) ตามลำดับ ต่อโคโคซาน 0.25 กรัม (น้ำหนัก/ปริมาตร) และใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ กลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% (น้ำหนัก/น้ำหนักของแข็งทั้งหมด) ตามลำดับ

จากนั้นนำฟิล์มคีแถมที่ผลิตได้มาศึกษาการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรด (Acid Hydrolysis) ที่พันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ของไซโลกลูเคน โดยวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ของไซโลกลูเคน และศึกษาการเกิดหมู่แอลดีไฮด์ของไซโลกลูเคน โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีเบเนดิกต์ (Benedict's test) และศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของคีแถมโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD), Differential scanning calorimeter (DSC), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) และศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์มคีแถม โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) จากนั้นศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มคีแถมที่ผลิตได้ในด้านต่างๆ ได้แก่ ความหนา (Thickness) โดยใช้ไมโครมิเตอร์แบบดิจิทัล, ความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มคีแถม (tensile strength and elongation at break) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) และความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial activity) ด้วยการตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (Total viable count) โดยดัดแปลงวิธีการจาก Simi, (2009)

จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม IBM SPSS statistics เวอร์ชัน 21 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละคู่ที่รีตเมนต์ด้วยวิธี Duncan Multiple Rank Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($P \leq 0.05$) และเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของไซโตลูเคนและกลีเซอรอลที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มคีแตม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะขาม

มะขาม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tamarindus indica* Linn. หรือ *T. occidentalis* Garnt. หรือ *T. officinalis* Hook. (Hickey and King, 2000) เป็นไม้ยืนต้นที่มีขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ อยู่ในตระกูล Fabaceae (Leguminosae) (ชูศักดิ์, 2550) ถิ่นกำเนิดเดิมของมะขามคือเป็นพืชพื้นเมืองในแถบทุ่งหญ้าแห้งแล้งของทวีปแอฟริกา ต่อมากระจายไปในแถบละตินอเมริกา หมู่เกาะแถบแคริบเบียน และทวีปเอเชีย (Gibbon and Pain, 1985) ปัจจุบันมะขามได้มีการเจริญเติบโตในประเทศต่างๆ มากกว่า 50 ประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะในเอเชีย เช่น อินเดีย บังกลาเทศ ศรีลังกา ไทย และอินโดนีเซีย (Kumar and Bhattacharya, 2008) สำหรับประเทศไทยมีการปลูกมะขามเปรี้ยวและมะขามหวานตามจังหวัดต่างๆ ซึ่งจังหวัดที่มีการปลูกมาก ได้แก่ เพชรบูรณ์ เลย ลำปาง เชียงใหม่ นครราชสีมา และอุบลราชธานี (ชูศักดิ์, 2550)

ฝักมะขามมีลักษณะเป็นฝักสีน้ำตาล หนึ่งฝักประกอบด้วยเมล็ด 1-12 เมล็ด เมื่อแก่จัดเมล็ดมะขามจะแข็ง มีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมหัวป้าน ผิวเรียบมันวาว มีสีแดงหรือสีม่วงอมน้ำตาล ในแต่ละเมล็ดจะล้อมรอบด้วยเยื่อเหนียวคล้ายกับเยื่อหุ้ม (Kaur *et al.*, 2011) เมล็ดมะขามประกอบด้วยเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) 20-30% และเนื้อเมล็ด 70-80% (Mirhosseini *et al.*, 2012) เนื้อในเมล็ดมะขามในส่วนของเอนโดสเปิร์มจะใช้ผลิตผงเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel powder: TKP) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของผงเมล็ดมะขามประกอบด้วยสารพอลิแซคคาไรด์มากกว่า 65% โดยพอลิแซคคาไรด์หลักที่พบคือไซลوجلูแคน (xyloglucan) หรือที่เรียกกันว่า เจลโลส (jellose) หรือพอลิโอส (Polyose) (Marathe *et al.*, 2002) และมีพอลิแซคคาไรด์ชนิดอื่นๆ เช่น เจลแลน แซนแทนกัม คาร์ทิซิน เป็นต้น (Nishinari *et al.*, 2009) นอกจากนี้ผงเมล็ดมะขามยังประกอบด้วยโปรตีนประมาณ 15-21%, ไขมันประมาณ 3-8%, ไขมัน 4-8%, และเส้นใยประมาณ 2-8% (Kumar and Bhattacharya, 2008) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

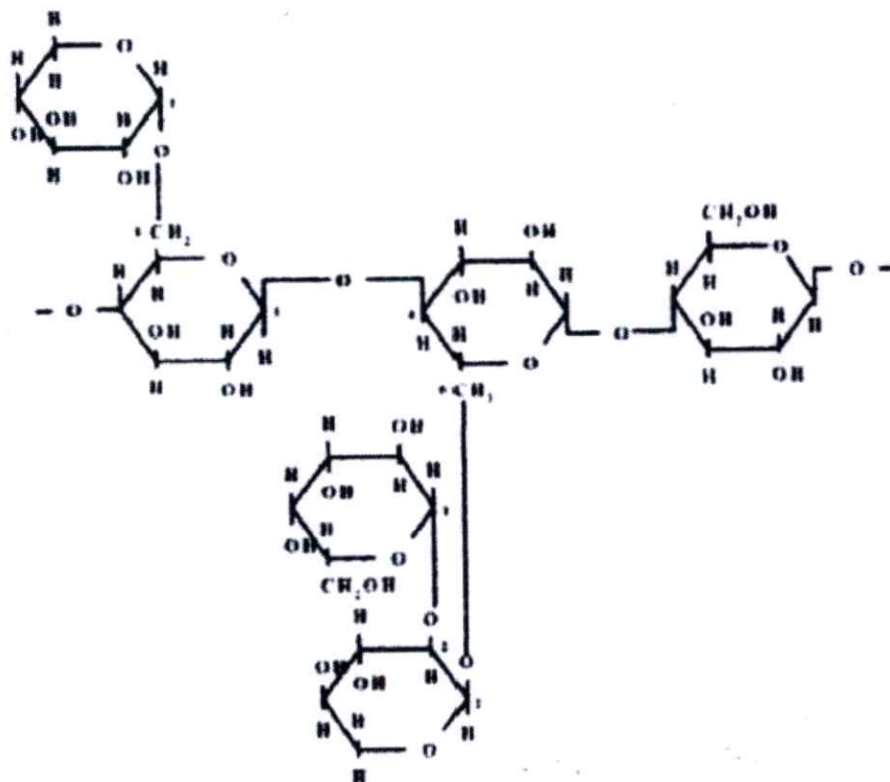
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของผงเมล็ดมะขาม

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (%) หรือร้อยละ
พอลิแซคคาไรด์	65.1–72.2
โปรตีน	15.0–20.9
ไขมัน	3.9–8.0
เส้นใย	2.5–8.2
ความชื้น	11.4–22.7
เถ้า	2.4–4.2

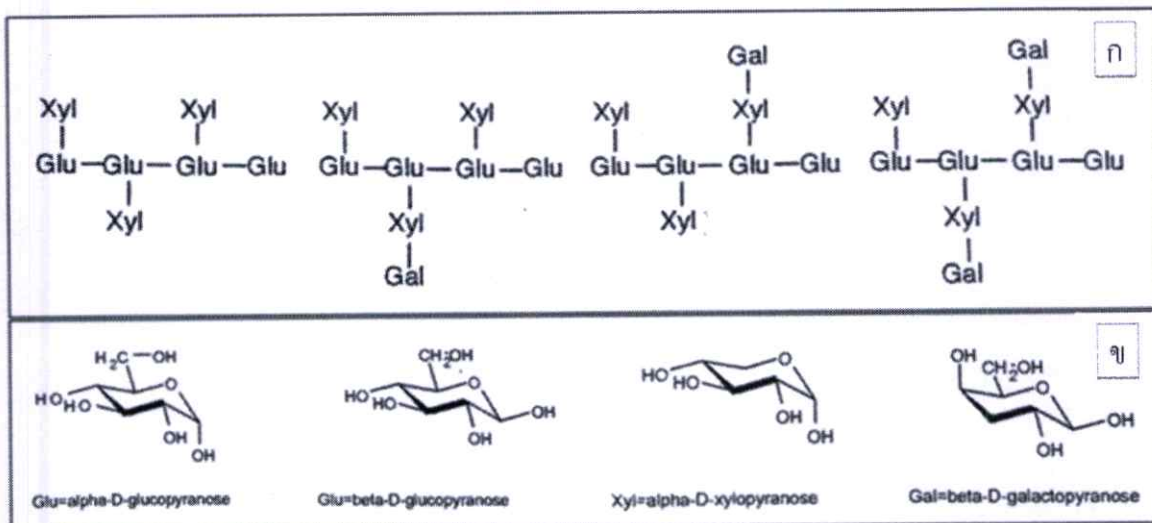
ที่มา: Kumar and Bhattacharya (2008)

2.2 ไซโลกลูแคน

ไซโลกลูแคน (Xyloglucan) หรือเจลโลส (Jellose) หรือพอลิโอส (Polyose) (Marathe *et al.*, 2002) เป็นพอลิแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในผนังเซลล์ของพืช (Nisbet *et al.*, 2006; Nishinari *et al.*, 2007) ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 3 ชนิด คือ น้ำตาลกลูโคส (glucose) น้ำตาลไซโลส (xylose) และน้ำตาลกาแลคโตส (galactose) ซึ่งสัดส่วนของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสายพันธุ์พืช ทำให้ไซโลกลูแคนที่สกัดได้จากพืชแต่ละสายพันธุ์พืชมีคุณสมบัติในด้านต่างๆ แตกต่างกันไป (Yamanaka, 2000; Ren *et al.*, 2005) ไซโลกลูแคนที่สกัดได้จากเมล็ดมะขามมีโครงสร้างหลัก คือ (1-4)- β -D-glucan และมี (1-6)- β -D-xylose เป็นสายกิ่ง ซึ่งมี (1-2)- β -D-galactoxylose เข้าแทนที่บางส่วน ดังแสดงในภาพที่ 2.1 และภาพที่ 2.2 (Shirakawa *et al.*, 1998; Yamanaka *et al.*, 2000; Marathe *et al.*, 2002; Nisbet *et al.*, 2006; Puja *et al.*, 2008) ซึ่งประกอบด้วยโอลิโกเมอร์ของไซโลกลูแคน 3 หน่วย คือ เฮปตะแซคคาไรด์ (heptasaccharide) ออกตะแซคคาไรด์ (octasaccharide I และ II) และโนนอะแซคคาไรด์ (nonasaccharide) (ภาพที่ 2.2) ในอัตราส่วน 13 : 39 : 48 โดยจะแตกต่างกันตรงจำนวนโมโนเมอร์ในสายกิ่งของกาแลคโตส โครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์จากผงเมล็ดมะขามมีความแตกต่างกับโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ในพืชชนิดอื่นๆ ทำให้ของพอลิแซคคาไรด์จากผงเมล็ดมะขามมีชื่อเฉพาะที่เรียกว่า ไซโลกลูแคน (Xyloglucan) หรือเจลโลส (Jellose) (Marathe *et al.*, 2002)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของไซโลลิกูแคนที่สกัดได้จากผงเมล็ดมะขาม
ที่มา: Puja *et al.* (2008)



ภาพที่ 2.2 ก) คือโครงสร้างสายโซ่หลักของไซโลลิกูแคน และภาพ ข) คือกลูโคสที่มีใน 3 โครงสร้าง oligomer ของไซโลลิกูแคน
ที่มา: Nisbet *et al.* (2006)

2.2.1 การสกัดไซโลกลูแคน

สินีนาฏ (2557) ได้ศึกษาสภาวะการสกัดไซโลกลูแคนโดยใช้ 2 สภาวะในการสกัด คือ การสกัดที่อุณหภูมิ $27.5 \pm 2.5^{\circ}\text{C}$ และ $87.5 \pm 2.5^{\circ}\text{C}$ ที่ pH เท่ากับ 3, 4 และ 5 แล้วนำไซโลกลูแคนที่ตกตะกอนได้ไปทำแห้งและบดละเอียดเป็นผงไซโลกลูแคน จากนั้นนำมาศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบแกนหมุน (Brookfield viscometer DV III) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 พบว่า ไซโลกลูแคนที่สกัดที่อุณหภูมิ 87.5°C ที่ pH เท่ากับ 3, 4 และ 5 จะมีความหนืดที่สูงกว่าสารละลายไซโลกลูแคนที่สกัดที่อุณหภูมิ $27.5 \pm 2.5^{\circ}\text{C}$ โดยที่ไซโลกลูแคนที่สกัดที่อุณหภูมิ 87.5°C ที่ pH เท่ากับ 4 มีค่าความหนืดสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอุณหภูมิและสภาวะการสกัดอื่นๆ

สิริการ และวรางคณา (2558) ได้การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและการทำแห้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของไซโลกลูแคน โดยการสกัดไซโลกลูแคนจากผงเมล็ดมะขามด้วยน้ำร้อน กรดเจือจาง (0.05 M HCl) และด่างเจือจาง (0.05 M NaOH) ที่อุณหภูมิ 90°C นาน 3 ชม. พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดไซโลกลูแคน คือ การใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 90°C นาน 3 ชม. จะได้ไซโลกลูแคนที่มีความสามารถในการละลาย (solubility) สูงที่สุด มีความสามารถในการดูดซับน้ำ (water adsorption ratio) สูง ได้ปริมาณผลผลิตไซโลกลูแคนร้อยละ 7.73 ± 1.01 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากการสกัดด้วยกรดเจือจางอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) มีค่าความหนืดค่อนข้างสูง จากผลการวิเคราะห์ FTIR spectra พบว่า ไซโลกลูแคนที่สกัดทั้ง 3 วิธีมีโครงสร้างที่คล้ายกัน และเมื่อศึกษาวิธีการทำแห้งไซโลกลูแคนทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่ การใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C นาน 4 ชม. และ 80°C นาน 2 ชม. โดยใช้การทำแห้งแบบสุญญากาศและการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า การทำแห้งไซโลกลูแคนที่เหมาะสม คือ การใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C นาน 2 ชม. มีปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างจากการทำแห้งด้วยวิธีการอื่น ($p > 0.05$) มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด ($p < 0.05$) มีปริมาณน้ำอิสระ (A_w) น้อย และมีค่าความสว่าง (L^*) สูงรองจาก ไซโลกลูแคนที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง นอกจากนี้การใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C ไซโลกลูแคนที่สกัดได้จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูง และมีความสามารถในการละลายน้ำสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่าง ($p > 0.05$) จากการใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

Chaiakdanukull and Sriroth (2005) ได้ทำการสกัดไซโลกลูแคน โดยสกัดเนื้อในเมล็ดมะขามด้วยวิธีการสกัด 3 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 ลอกเปลือกเมล็ดมะขามโดยไม่ใช้ความร้อน, วิธีที่ 2 ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C นาน 15 นาที และวิธีที่ 3 คั่วเมล็ดมะขามที่อุณหภูมิ 200°C นาน 2 นาที จากนั้นนำเนื้อในเมล็ดมะขามที่สกัดได้จาก 3 วิธีข้างต้นมาสกัดด้วยเฮกเซนเพื่อสกัดเอาไขมันออก แล้วจึงนำไปอบเพื่อระเหยเฮกเซน นำแป้งเมล็ดที่ได้ไปละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 3 ลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปต้มที่อุณหภูมิ 80°C นาน 30 นาที โดยกวนคนสารละลายตลอดเวลา หลังจากนั้นนำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที และตกตะกอนสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 70% ที่อุณหภูมิ 4°C โดยทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยอีกครั้งที่

ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที นำไซโลกลูแคนที่สกัดได้ไปทำแห้งโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dehydration) เมื่อนำไซโลกลูแคนที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุล (Mw) พบว่า ไซโลกลูแคนที่สกัดจากวิธีที่ 1, วิธีที่ 2 และวิธีที่ 3 มีค่า Mw 3.831×10^6 กรัม/โมล, 3.440×10^6 กรัม/โมล และ 3.304×10^6 กรัม/โมล ตามลำดับ

Simi (2009) สกัดไซโลกลูแคนจากผงเมล็ดมะขาม โดยกำจัดโปรตีนออกจากผงเมล็ดมะขามด้วยเอนไซม์โปรติเอสจากเชื้อ *B. licheniformis* และกำจัดไขมันออกด้วยวิธีการชอกเลต (Soxhlet extraction) โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย แล้วทำแห้งในตู้อบลมร้อน จากนั้นนำผงเมล็ดมะขามมาคัมกับน้ำผสมกรดอะซิติก เก็บสารละลายไว้ข้ามคืน แล้วระเหยของเหลวใสให้ได้ครึ่งหนึ่งของปริมาตร เมื่อสารละลายถูกทำให้เย็นลง จะตกตะกอนเอาเส้นใยของไซโลกลูแคนโดยการเติมเอทานอล 95% (ปริมาตร/ปริมาตร) กรอง และทำให้แห้ง พบว่า ผงไซโลกลูแคนที่ได้มีปริมาณความชื้น 9.7%, ไขมัน 0.33%, เถ้า 0.285% และมีโปรตีนเล็กน้อย

2.2.2 การนำไซโลกลูแคนไปใช้ประโยชน์

เนื่องจากไซโลกลูแคนมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี ทนต่อความร้อน ทนต่อกรดและแรงเฉือนได้ดี อุตสาหกรรมอาหารจึงนำไซโลกลูแคนไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้แก่ ใช้เป็นสารที่ช่วยให้คงตัว (stabilizing agent), สารเพิ่มความข้นหนืด (thickening agent), สารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent), สารทดแทนไขมัน (Fat substitute หรือ fat replacer), สารเติมแต่งในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ (food additive) เช่น ชอส ไอศกรีม เยลลี่ และบะหมี่ เป็นต้น (Harris and Bronwen, 2006) และใช้ในสูตรชดัดแปรในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น น้ำสลัด มาของเนส ไอศกรีม บะหมี่ และสตูว์ เป็นต้น (Nishinari *et al.*, 2000) ยังมีการนำมาใช้เป็นสารยึดเกาะในอุตสาหกรรมยาและใช้เป็นกาวในอุตสาหกรรมสิ่งทอ (Sahoo *et al.*, 2011), ใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางในรูปแบบของเจล (Maramaldi, 2011) และนำมาผลิตเป็นฟิล์มปิดแผล (Patil *et al.*, 2011)

เมื่อนำไซโลกลูแคนมาละลายน้ำจะได้สารละลายที่เหนียวหนืด สามารถเกิดเจลได้ในสารละลายน้ำตาล และเป็นเจลภายใต้สภาวะที่เป็นกรดและเป็นกลางได้ดี ซึ่งสามารถทนต่อสภาวะความเป็นกรดต่างได้ในช่วงกว้างเมื่อเทียบกับเจลของจากเพคตินที่ได้จากผลไม้ นอกจากนี้ไซโลกลูแคนยังมีคุณสมบัติและลักษณะที่คล้ายกับเพคตินในผลไม้ที่ใช้ในการผลิตเยลลี่ แยมผิวส้ม และแยมผลไม้ จึงทำให้สามารถนำไซโลกลูแคนมาใช้แทนแป้งและเพคตินได้ และเมื่อใช้เจลโลสร่วมกับกัมชนิดอื่น เช่น กัวร์กัม เพคติน หรือแอลจินเนต พบว่าเจลที่ได้จะมีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารของประเทศญี่ปุ่นได้มีการอนุญาตให้นำผงเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์มาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด สารให้ความคงตัว และสารที่ทำให้เกิดเจล เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านการไหลและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยนำมาใช้ร่วมกับกัมชนิดอื่นๆ เช่น กัวร์กัม และอัลจินเนต เป็นต้น (Marathe *et al.*, 2002)

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการนำไซโลกลูแคนไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ

ประเภทของอุตสาหกรรม	หน้าที่
การผลิตเส้นใยและสิ่งทอ	- สารที่ช่วยต้านทานการซึมผ่านของของเหลว - สารช่วยในการยัดติด
อุตสาหกรรมอาหาร	- สารเพิ่มความข้นหนืด - สารที่ทำให้เกิดความคงตัว - สารที่ทำให้เกิดเจล
การผลิตกระดาษ	- สารเติมแต่ง
การผลิตไม้อัด	- สารช่วยในการยึดตัว
การผลิตอิฐ	- สารยึดเกาะ ช่วยให้เกิดความคงตัว
อุตสาหกรรมยา	- สารเติมแต่งให้ความข้นหนืด - สารยึดเกาะในยาเม็ด

ที่มา: El-Sidding *et al.*, 2006

2.2.3 กระบวนการผลิตและคุณสมบัติของฟิล์มไซโลกลูแคนที่ผลิตได้

ปิยะนุช และคณะ (2557) ได้ศึกษาผลของสารก่อฟิล์มร่วมและสารเพิ่มความยืดหยุ่นที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่เตรียมจากเนื้อในเมล็ดมะขาม โดยใช้ไซเดียมอัลจินตในอัตราส่วน 1:1 เป็นสารก่อฟิล์มร่วม และใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอล 20% (น้ำหนัก/น้ำหนัก) เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น จากการศึกษา พบว่า ฟิล์มที่เตรียมจากเนื้อในเมล็ดมะขามผสมไซเดียมอัลจินตและกลีเซอรอล มีค่าความต้านทานต่อการเจาะทะลุ (penetration resistance) ความสามารถในการยืดตัว (elongation at break) และความสามารถในการยึดเกาะ (adhesive bonds strength) เท่ากับ 68.10 ± 2.42 MPa, $42.22 \pm 1.75\%$ และ 13.61 ± 0.378 กรัม.ซม.² ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าฟิล์มที่เตรียมจากเนื้อในเมล็ดมะขามผสมไซเดียมอัลจินตและซอร์บิทอล สำหรับฟิล์มที่เตรียมจากเนื้อในเมล็ดมะขามผสมไซเดียมอัลจินตและซอร์บิทอลมีความสามารถในการต้านการซึมผ่านไอน้ำได้ดี จึงสรุปว่าสารก่อฟิล์มร่วมและสารเพิ่มความยืดหยุ่นมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากเนื้อในเมล็ดมะขาม (TSX) ซึ่งมีความเป็นไปได้สำหรับนำมาประยุกต์ใช้ทางเกษตรกรรมและเครื่องสำอาง

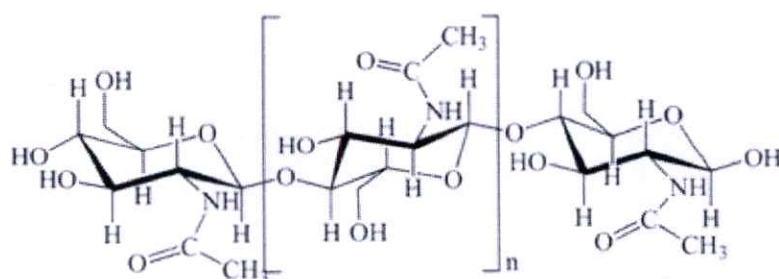
Rashmirekha *et al.* (2010) นำพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดจากเมล็ดมะขาม หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กาแลคโตไซโลกลูแคน (galactoxyloglucan) มาใช้เป็นตัวขนส่งยาต้านมะเร็งในกลุ่มแพคคิแทกเซล (paclitaxel: PTX) ซึ่งขั้นตอนในการเตรียมตัวขนส่งยานำสารละลายไซโลกลูแคนมาผสมกับ 1% สารละลายกรดอะซิติก จากนั้นใส่ยาต้านมะเร็งในกลุ่มแพคคิแทกเซลที่ได้ทำการผสมสูตรและกรองไว้แล้วลงไป จากนั้นใส่กลีเซอรอล 25% (น้ำหนัก/น้ำหนัก) แล้วผสมสารละลายให้เข้ากันก่อนนำสารละลายทั้งหมดเทลงบนแผ่นอะคริลิก นำฟิล์มไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $50 \pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 24 ชั่วโมง

จากนั้นนำฟิล์มที่อบเสร็จแล้วใส่ในโถดูดความชื้น (desicator) ที่อุณหภูมิ $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 48 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้งาน

Harris and Bronwen (2015) ได้พัฒนาฟิล์มปิดตาที่ทำมาจากไซโลกลูแคน ซึ่งฟิล์มปิดตานี้ได้รับการยอมรับจากทางการแพทย์ว่าปลอดภัย ไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อดวงตา และสามารถลดการอักเสบของตาที่เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรียได้ ซึ่งในขั้นตอนการผลิตฟิล์มจะนำไซโลกลูแคนประมาณ 2 กรัม มาละลายในน้ำ 80 มล. แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C นาน 1 ชั่วโมง พร้อมกับกวนผสมให้เข้ากันด้วยความเร็วสูงที่ 10,000 rpm นาน 15 นาที แล้วใส่ไซโปรฟลอกซาซิน (ciprofloxacin) 0.3 กรัม จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการโซนิเคชัน (sonication) นาน 30 นาที เพื่อจำกัดฟองอากาศ แล้วเติมกลีเซอริน 0.3 มล. และเทสารละลายทั้งหมดให้กระจายทั่วบนจานเทฟลอน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 40°C จนกระทั่งแห้ง จะได้ฟิล์มที่ทำจากไซโลกลูแคน โดยทุกขั้นตอนในการผลิตฟิล์มจะต้องอยู่ในสภาวะปลอดเชื้อ

2.3 ไคติน

ไคตินเป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) ที่เป็นองค์ประกอบหลักในโครงสร้างของสัตว์ในคลาสครัสเตเชีย เช่น กุ้ง และปู นอกจากนี้ยังพบในระบบโครงกระดูกภายนอกของสัตว์น้ำไฟลัมมอลลัสกาและแมลง และพบได้ในผนังเซลล์ของเห็ด รา และสาหร่ายบางชนิด ไคตินพบมากเป็นอันดับสองของโลกรองจากเซลลูโลส ซึ่งไคตินที่พบในธรรมชาติมีปริมาณมากกว่า 1000 ตันต่อปี โดยร้อยละ 70 มาจากสัตว์ทะเล (Yeul and Rayalu, 2013; Bhuiyan *et al.*, 2013) ไคตินเป็นสารคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับแป้งและเซลลูโลส โครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเล็กๆ ที่เรียกว่า N-Acetylglucosamine ต่อกันเป็นสายยาวเกิดเป็นโครงสร้างที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในกรดอินทรีย์ เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน กรดฟอสฟอริก และกรดฟอร์มิกที่ปราศจากน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 2.3 (Aranaz *et al.*, 2009)



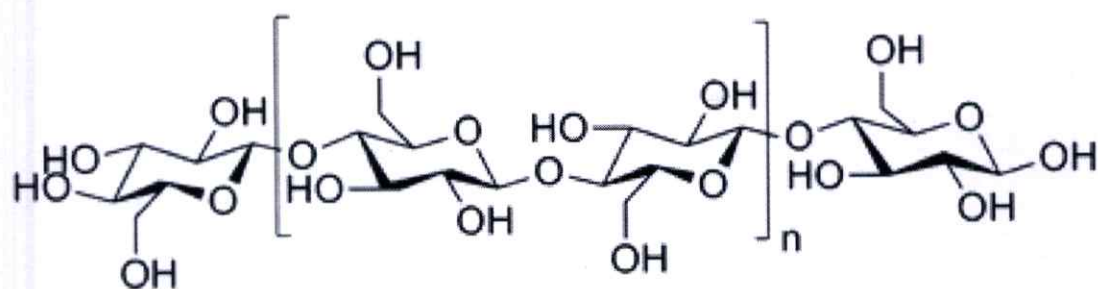
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของไคติน

ที่มา: Aranaz *et al.* (2009)

ไคตินในธรรมชาติจะอยู่ร่วมกับ โปรตีนและเกลือแร่จึงต้องนำไคตินมากำจัดเกลือแร่ออก (Demineralization) โดยใช้กรดจะได้แผ่นเหนียวหนืดคล้ายพลาสติก แล้วนำไปกำจัดโปรตีนออก (Deproteinization) โดยใช้ด่างจะได้ไคติน หากเป็นไคตินที่ได้จากเปลือกกุ้งหรือปูจะมีสารรงควัตถุ เช่น แคโรทีนอยด์ (สีส้ม) ปนอยู่จะต้องนำไคตินที่ได้ไปแช่ในเอทานอลเพื่อละลายสีออก ในเปลือกของสัตว์ทะเลประเภทกุ้งและปูมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ไคติน (20–30 %), โปรตีน (30–40 %) แคลเซียมคาร์บอเนต (1–2 %) และสารอื่นๆ ที่มีอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ สารรงควัตถุ เช่น แคโรทีนอยด์ (สีส้ม) และไขมัน (Lipid) ไคตินบริสุทธิ์มีสีขาวคล้ายเยื่อกระดาษ ไม่ละลายน้ำ กรดอ่อน ด่างอ่อน ด่างแก่ และตัวทำละลายอินทรีย์ทั้งหมด แต่ละลายในกรดฟอรั่มิกบริสุทธิ์ สารละลายไฮเปอร์คลอไรด์และกรดเข้มข้น สาเหตุที่ไคตินไม่ละลายในสารละลายทั่วไปเนื่องจากไคตินเป็นสารโมเลกุลสายยาวที่ไร้ประจุ (Paul *at al.*, 2014) บางครั้งในการนำมาใช้จึงค่อนข้างมีข้อจำกัด อาจต้องมีการดัดแปลงโครงสร้างของไคตินในรูปอนุพันธ์ต่าง ๆ เพื่อให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากขึ้น เช่น ทำให้อยู่ในรูปคาร์บอกซีเมทิลไคติน (Carboxymethyl Chitin: CM-Chitin) ที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาของไคตินที่เป็นด่างกับกรดโมโนคลอโรอะซิติกในไอโซโพรพานอล (Monochloroacetic Acid in Isopropanol) ซึ่งมีความคุณสมบัติพิเศษคือสามารถละลายน้ำได้ จากการศึกษา Tokura *et al.* (1997) พบว่า คาร์บอกซีเมทิลไคตินมีคุณสมบัติเป็นสารจับโลหะ และเป็นอิเล็กโทรไลต์ เมื่อนำมาละลายน้ำจะให้ความหนืด นอกจากนี้ยังเป็นที่ยอมรับว่ามีพิษและมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy Methyl Cellulose: CMC) Rutherford and Austin (1978) พบว่าสารละลายที่เหมาะสมในการละลายไคตินโดยไม่มีผลต่อโครงสร้างของสารประกอบ คือ สารละลาย N,N-Dimethyl Acetamide (DMAC) ที่มี 1.5 % LiCl₂ และ N-Methyl-2-Pyrrolidone (NMP) ที่มี 5% LiCl₂

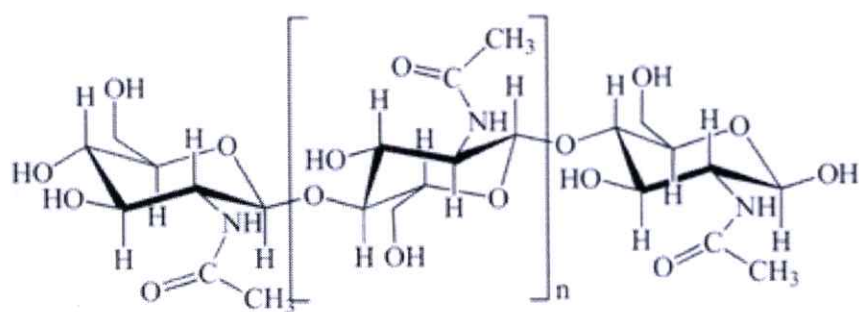
2.4 ไคโตซาน

โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซานมีความคล้ายคลึงกับเซลลูโลส ซึ่งโครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วยหลายร้อยถึงมากกว่าพันหน่วยของ β -(1-4) linked d-glucose ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (Bhuiyan *et al.*, 2014) แต่ในโครงสร้างของไคตินและไคโตซานคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะถูกแทนที่ด้วยหมู่อะเซตาไมด์ ดังแสดงในภาพที่ 2.5 (Aranaz *et al.*, 2009)

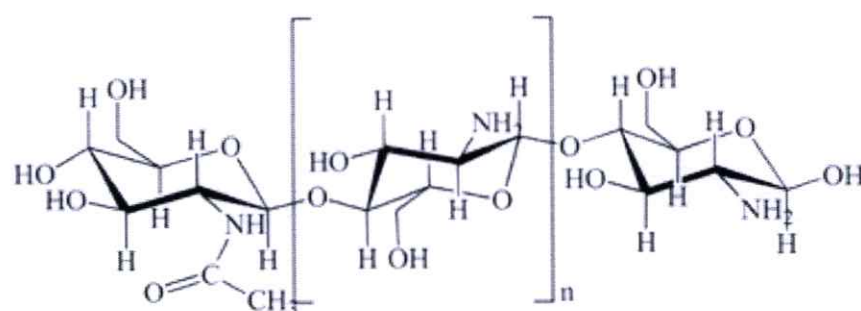


ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของเซลลูโลส

ที่มา: Bhuiyan *et al.* (2014)



(a)



(b)

ภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ทางโครงสร้างระหว่าง (a) ไคติน และ (b) ไคโตซาน

ที่มา: Aranaz *et al.* (2009)

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคติน มีชื่อทางเคมีว่า Poly- $\beta(1,2)$ -2-deoxy-D-glucose ในการผลิตเชิงพาณิชย์จะกำจัดหมู่อะซิติล ($-\text{COCH}_3$) ของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine ออกจากสายของไคติน ตั้งแต่ 50% ขึ้นไป (Aranaz *et al.*, 2009) หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยา Deacetylation คือ เปลี่ยนน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เป็นกลูโคซามีน (glucosamine) โดยแซ่ไคตินในสารละลายต่างเข้มข้น (Dutta *et al.*, 2004) ซึ่งระดับการกำจัดหมู่อะซิติลหรือเปอร์เซ็นต์การเกิดปฏิกิริยา Deacetylation มีผลต่อสมบัติและการทำงานของไคโตซาน นอกจากนี้น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานซึ่งบอกถึงความยาวของสาย

ไคโตซานมีผลต่อความหนืด เช่น ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีสายยาวและสารละลายมีความหนืดมากกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นต้น ดังนั้น การนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์จะต้องคำนึงถึงเปอร์เซ็นต์การเกิดปฏิกิริยา Deacetylation และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน (Anonymous, 1997)

2.4.1 คุณสมบัติของไคโตซาน

ไคโตซานสามารถละลายในสารละลายหลายชนิด ได้แก่ สารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดอะซิติก, กรดโพธิโอนิก, กรดแลคติก, กรดไพรูวิก, กรดมาลิก, กรดทาทริก และกรดซิตริก นอกจากนี้ยังสามารถละลายในสารละลายกรดในดริก กรดไฮโปคลอริก กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง (ความเข้มข้น 1% หรือน้อยกว่า) และละลายได้เล็กน้อยในกรดฟอสฟอริก (ความเข้มข้น 0.5%) แต่ไม่ละลายในกรดซัลฟูริก ไม่ละลายน้ำแต่จะละลายในรูปของเกลือของกรดหลายชนิดยกเว้นเกลือซัลเฟตและเกลือซัลไฟด์ และไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ ไป แต่จะละลายในสารละลายพอลิแอลกอฮอล์ที่เป็นกรด เช่น ละลายในสารผสมของกลีเซอรอลและน้ำในอัตราส่วนกลีเซอรอลและน้ำที่ 3:1 ที่มีกรดอะซิติกเข้มข้น 1% สารละลายที่ได้จะใส และสามารถละลายได้ในเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) ซึ่งการละลายในสารละลายอินทรีย์พวกพอลิแอลกอฮอล์จะมีผลต่อความหนืดของไคโตซานเล็กน้อย ถ้ามีกลีเซอรอลอยู่ในสารละลายไคโตซานจะมีลักษณะเป็นเจล ขณะที่ถ้ามีซอร์บิทอลอยู่สารละลายไคโตซานที่ได้จะมีลักษณะเป็นเจลกึ่งแข็ง (Kumar, 2000)

ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น Cationic polyelectrolyte, Chelating และ Dispersion forming และเนื่องจากมีหมู่เอมิโน ($-NH_2$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ทำให้ไคโตซานสามารถละลายได้ในสารละลายกรดอ่อน นอกจากนี้ประจุบวก ($-NH_3^+$) บนโครงสร้างของไคโตซานสามารถเกิดอันตรกิริยากับประจุลบของสารประกอบอินทรีย์ เช่น โปรตีน, แอนไอออนิก และกรดนิวคลีอิก เป็นต้น ทำให้ได้ประจุไฟฟ้าที่เป็นกลาง และยังสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะหนักได้ โดยใช้หมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ในการเกิด chelate metal ion กับพวกทองแดง (copper), แมกนีเซียม (magnesium) และสามารถจับกับโลหะได้อีกหลายชนิด เช่น โครเมียม (chromium), เงิน (silver) และแคดเมียม (cadmium) (Kumar, 2000) เนื่องจากมีประจุบนสายโมเลกุลจึงสามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติ โดยไม่ก่อให้เกิดการตกค้างหรือเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และยังมีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดี ทำให้วัสดุเหล่านี้เหมาะที่จะนำมาเป็นวัสดุทางเลือกในอุตสาหกรรมผลิตโพลีเมอร์สังเคราะห์ (Tan *et al.*, 2009; Croisier and Jerome, 2013)

2.4.2 การผลิตไคตินและโคโตซานด้วยวิธีทางเคมี

การผลิตทางเคมีเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในระดับอุตสาหกรรม แต่ข้อเสียของวิธีทางเคมี ได้แก่ คุณภาพในการผลิตจะควบคุมยาก เครื่องมือที่ใช้ถูกกัดกร่อนอันเนื่องมาจากสารเคมีที่เข้มข้น และประการสำคัญคือเรื่องสิ่งแวดล้อม มีขั้นตอนพื้นฐานอยู่ 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมวัตถุดิบ การเตรียมไคติน และการเตรียมโคโตซาน

2.4.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ไคตินอาจสกัดจากเปลือกกุ้งสดหรือเปลือกกุ้งที่ผ่านการตากแห้งและบด แต่วัตถุดิบที่นำมาใช้ควรผ่านการทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกต่างๆ ที่ปะปนมา Bough *et al.* (1978) ได้เตรียมเปลือกกุ้งสำหรับผลิตไคติน โดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 103°C นาน 20 ชั่วโมง แล้วบดให้มีขนาด 1.0 มม. ส่วน Chandumpai *et al.* (2004) ทำความสะอาดวัตถุดิบด้วยน้ำหลายครั้งแล้วทำแห้งที่อุณหภูมิ 60°C นาน 24 ชั่วโมง บด แล้วกรองผ่านตะแกรงที่มีขนาด 0.75 มม.

2.4.2.2 การเตรียมไคติน

เนื่องจากไคตินในธรรมชาติอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน โดยมีโปรตีนและแร่ธาตุเป็นส่วนประกอบสำคัญ ดังนั้นการสกัดด้วยวิธีทางเคมีจึงต้องผ่าน 2 ขั้นตอนสำคัญ คือ การกำจัดแร่ธาตุ (deminceralization) โดยใช้สารละลายกรดและกำจัดโปรตีน (deproteinization) โดยใช้สารละลายด่างและเมื่อใช้สภาวะของปฏิกิริยาในกระบวนการสกัดที่แตกต่างกันจึงมีผลให้คุณสมบัติและคุณภาพของไคตินที่สกัดได้จะแตกต่างกัน (มณฑา จำเริญรักษ์, 2544)

2.4.2.3 การเตรียมโคโตซาน

เนื่องจากคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของไคตินประกอบด้วยกลุ่มอะซีติลเอมีน ($-\text{NHCOCH}_3$) โดยอะซีติลจับกับเอมีน เพื่อให้ได้สารโคโตซานจำเป็นต้องกำจัดหมู่อะซีติลออก ($-\text{COCH}_3$) กระบวนการนี้เรียกว่า deacetylation ซึ่งวิธีทางเคมีทำได้โดยการนำไคตินไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 40-45% (10-12.5 M) ที่อุณหภูมิสูง (สุทธรวัฒน์ เบญจกุล, 2533)

2.4.3 กระบวนการผลิตและคุณสมบัติของฟิล์มไคโตซานที่ผลิตได้

สิริรัตน์ (2549) ได้ศึกษาการใช้แผ่นฟิล์มและการฉีดพ่นไคโตซานและโคโตซานผสมสารสกัดกระเทียมในการถนอมผลิตภัณฑ์ประมง โดยทดลองทำแผ่นฟิล์มไคโตซาน โดยใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 0.5% และโคโตซาน 0.5% ผสมเด็กซ์ตริน (dextrin) 0.5% และโคโตซานผสมกลีเซอรอล 1% พบว่าแผ่นฟิล์มไคโตซานและแผ่นฟิล์มไคโตซานผสมเด็กซ์ตริน 0.5% มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มคงรูปร่างสมบูรณ์ แต่แผ่นฟิล์มไคโตซานผสมกลีเซอรอล 1% มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มที่ม้วนงอไม่คงรูป และจากการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของรา *Penicillium roqueforti* และ *Aspergillus awamori* ของแผ่นฟิล์มไคโตซานและแผ่นฟิล์มไคโตซานที่ผสมสารสกัดกระเทียม 2.5% บนเพลทอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใส่ราลง ไปจำนวน 10^3 CFU/ml พบว่าแผ่นฟิล์มไคโตซานสามารถยับยั้งการเจริญของราทั้งสองชนิด

โดยไม่พบการเจริญของราบนแผ่นฟิล์มตลอดระยะเวลา 10 วัน ที่อุณหภูมิ 30 °ซ ส่วนการผสมสารสกัดกระเทียมในแผ่นฟิล์มจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของรา

ปรารค์ทอง และเบญจมาศ (2557) ได้ศึกษาผลของไคโตซานความเข้มข้นต่ำต่อคุณภาพการเก็บรักษาชมพูพันธุ์ทองสามสี โดยนำผลชมพูมาสเปรย์ด้วยน้ำสะอาดหรือสารละลายไคโตซานชนิด CH_3 (ขนาดโมเลกุล 100,000 ดาลตัน) หรือ CH_2 (ขนาดโมเลกุล 50,000 ดาลตัน) ความเข้มข้น 10 หรือ 50 ppm ก่อนนำไปบรรจุและเก็บรักษาที่ 12 °ซ เปรียบเทียบกับการไม่ล้างผลชมพู พบว่าวิธีการสเปรย์ด้วยสารละลายไคโตซานหรือน้ำในลักษณะเป็นละอองบนผิวของชมพูไม่ส่งผลเสียต่อคุณภาพการเก็บรักษาชมพู อีกทั้งยังมีแนวโน้มในการช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการเปลี่ยนสีผล และรักษาความสด ทำให้ผลชมพูมีคุณภาพภายนอกเป็นที่ยอมรับได้ดีกว่าผลที่ไม่ถูกสเปรย์เมื่อเก็บรักษานาน 15 วัน

Tan *et al.* (2014) ได้ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มจากไคโตซานร่วมกับการใช้สารสกัดจากเมล็ดส้มโอที่ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมฟิล์มจะละลายผงไคโตซาน 1.5% ในสารละลายกรดอะซิติก จากนั้นเติมสารสกัดจากเมล็ดส้มโอ โดยเปลี่ยนแปลงร้อยละของสารสกัดจากเมล็ดส้มโอ จาก 0, 0.5, 1.0 และ 1.5% (v/v) ตามลำดับ แล้วกวนด้วยความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 24 °ซ จากนั้นกรองสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกจากสารละลายของฟิล์ม นำสารละลายของฟิล์มใส่ลงในจานอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °ซ ภายใต้สุญญากาศ โดยใช้เตาอบไฟฟ้า จากนั้นนำฟิล์มที่ได้มาใส่ในโถดูดความชื้น (desiccator) จนฟิล์มมีความชื้นสัมพัทธ์ $50 \pm 5\%$ และมีอุณหภูมิ 23 ± 2 °ซ จึงนำฟิล์มมาเก็บที่อุณหภูมิ 4 °ซ จากการทดลองเสริมสารสกัดจากเมล็ดส้มโอที่ความเข้มข้นร้อยละต่างๆ ลงในฟิล์มจากไคโตซาน พบว่า การเติมสารสกัดจากเมล็ดส้มโอที่ร้อยละต่างๆ ไม่มีผลต่อความโปร่งแสงของฟิล์ม ทำให้สามารถเพิ่มความเข้มข้นของสกัดจากเมล็ดส้มโอโดยไม่ต้องคำนึงถึงความโปร่งแสง และถึงแม้ว่าค่าความสามารถในการต้านแรงดึงขาด (tensile strength) ของฟิล์มจะลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากเมล็ดส้มโอ แต่ฟิล์มจากไคโตซานที่มีการเสริมสารสกัดจากเมล็ดส้มโอที่ความเข้มข้น 0.5% (v/v) มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดเท่ากับ 20.6 MPa ซึ่งสามารถเทียบเท่าได้กับค่าความสามารถในการต้านแรงดึงขาดของฟิล์ม-โพลีเอทิลีน (polyethylene: PE) และยังเพิ่มร้อยละความเข้มข้นสารสกัดจากเมล็ดส้มโอจะทำให้ความสามารถในการยืดตัวของฟิล์ม (Elongation at break) เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้อัตราการเจริญของเชื้อราจะลดลง เมื่อเพิ่มร้อยละความเข้มข้นของสกัดจากเมล็ดส้มโอลงในฟิล์ม ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาขนมปังได้นานถึง 2 เท่า

Huanle *et al.* (2016) ได้ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มจากไคโตซานร่วมกับการใช้นาโนอิมัลชัน-ซินนามาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมฟิล์มจะละลายผงไคโตซาน 2% ในสารละลายกรดอะซิติก แล้วนำสารละลายไคโตซานมาผสมกับนาโนอิมัลชันซินนามาลดีไฮด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.1%, 0.2%, 0.6%, 0.8%, 1.0%, 1.5% และ 2.0% ตามลำดับ จากนั้นกวนสารละลายอย่างต่อเนื่อง 30 นาที แล้วกำจัดฟองอากาศโดยใช้สุญญากาศ นำมาปรับ pH ของสารละลายให้มีค่า pH ประมาณ 4.3 จากนั้นนำขึ้นรูปในจาน และอบแห้งเป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยใช้เตาอบไฟฟ้าแบบ

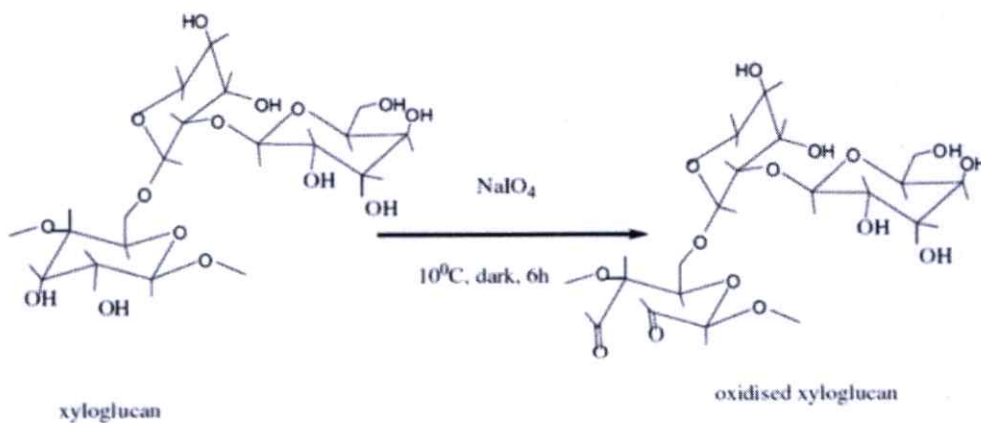
สูญญากาศ หลังจากนั้นลอกแผ่นฟิล์มออกจากงาน แล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้นที่บรรจุซิลิกาเจล ก่อนที่จะนำไปตรวจสอบคุณลักษณะของฟิล์ม จากการทดลองเสริมนาโนอิมัลชันซินนามาลดีไฮด์ความเข้มข้นร้อยละต่างๆ ลงในฟิล์มจากไคโตซาน พบว่า ฟิล์มจากไคโตซานร่วมกับการใช้นาโนอิมัลชัน-ซินนามาลดีไฮด์ 0.4% และ 0.6% มีประสิทธิภาพในการป้องกันแสง UV-Visible มากที่สุด ซึ่งภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นว่า ฟิล์มจากไคโตซานจะมีพื้นผิวที่ขรุขระ ในทางตรงกันข้ามเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของนาโนอิมัลชันซินนามาลดีไฮด์จะทำให้มีพื้นผิวที่ขรุขระและมีรูพรุนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น และซินนามาลดีไฮด์จะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างช้าๆ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ นอกจากนี้การเสริมนาโนอิมัลชันซินนามาลดีไฮด์ยังมีผลในการช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรียและเชื้อรา

2.5 คีแตม

คีแตม (Chitam) มาจากคำ 2 คำรวมกัน คือ คี (Chi) มาจากคำว่า Chitosan และแตม (Tam) มาจากคำว่า Tamarind ซึ่งคีแตมเกิดจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างหมู่แอลดีไฮด์ (-CHO) ของไซโลกลูแคนและหมู่อะมิโน (-NH₂) ของไคโตซานซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า คีแตม (Chitam) (Simi, 2009)

2.5.1 กระบวนการผลิตและคุณสมบัติของฟิล์มคีแตมที่ผลิตได้

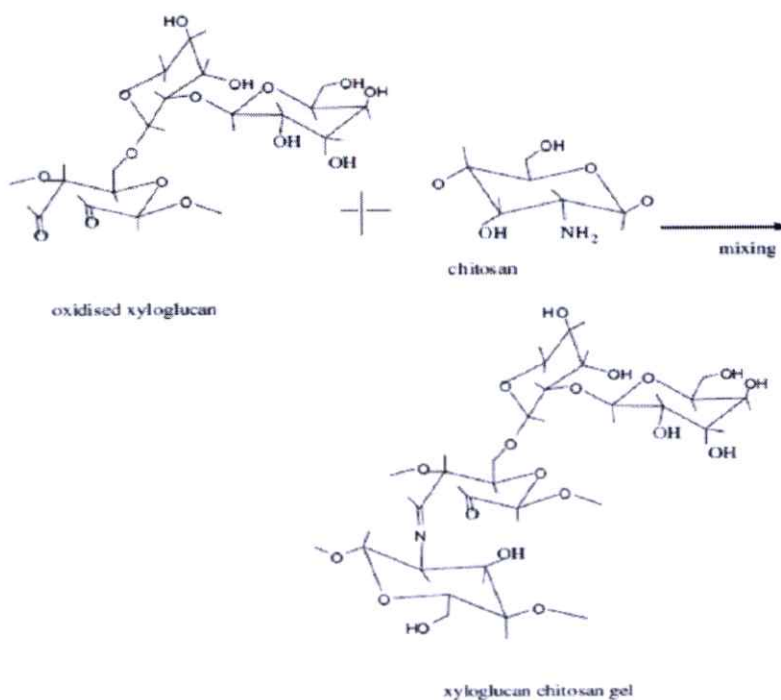
Simi (2009) ได้ทำการศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกันระหว่างไซโลกลูแคนและไคโตซานเกิดเป็นสารประกอบที่เรียกว่า เจลคีแตม โดยไซโลกลูแคนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 ของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ถูกออกซิไดซ์โดยใช้โซเดียมเพอร์ไอโอเดต (sodium periodate) ทำให้เกิดการแตกออกของพันธะคาร์บอน-คาร์บอนและเกิดหมู่แอลดีไฮด์ (-CHO) ขึ้น ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไซโลกลูแคน โดยใช้โซเดียมเพอร์ไอโอเดต (NaIO₄)

ที่มา: Simi (2009)

จากนั้นนำออกซิไดซ์ไซโลกลูแคนมาผสมกับ 1% ไคโตซานที่ผสมอยู่ใน 1% สารละลายกรดอะซิติก ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างหมู่แอลดีไฮด์ (-CHO) ของไซโลกลูแคนและหมู่เอมิโน (-NH₂) ของไคโตซานซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์เกิดเป็นสารประกอบที่เรียกว่า คีแตม (Chitam) ดังภาพที่ 2.7 สามารถยืนยันการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของคีแตม โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR จาก FTIR spectra ที่ Wavenumbers 1644 cm⁻¹ พบการปรากฏของหมู่เอมีน (-C=N-) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของคีแตม จากการศึกษา พบว่า ความเข้มข้นของไคโตซานและค่าพีเอชมีผลต่อความแข็งแรงของฟิล์มคีแตม โดยที่อัตราส่วนระหว่างไซโลกลูแคนต่อไซโตซานที่ 3:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มคีแตม เนื่องจากจะทำให้ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรงสูง คงทนต่อความร้อน และมีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ที่ดี



ภาพที่ 2.7 กลไกการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูแคนและไคโตซาน
ที่มา: Simi. (2009)

จากการสืบค้นสิทธิบัตรของ Simi and Abraham (2012) เรื่องกระบวนการในการเตรียมเจลคีแตม เจลคีแตมเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่เกิดจากการโคพอลิเมอไรส์ระหว่างไซโลกลูแคนและไคโตซาน ซึ่งเจลที่ได้จะมีลักษณะใส ไม่มีสี มีความคงตัวในช่วงอุณหภูมิ -20°C ถึง 90°C น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 4,730 KDa และมีความหนืด 4,100 Centi Poises ที่ 28 ± 2 °C เป็นเจลที่ไม่มีพิษ สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งเอนไซม์ในกระเพาะอาหารของมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้และไม่ให้พลังงาน จึงสามารถนำมาใช้เติมในอาหารเป็นสารเติมแต่งอาหาร (food ingredient) และอาหารเสริม (supplement functional foods) นอกจากนี้ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหรือผลิตภัณฑ์ของใช้ส่วนตัว

กาวติดเนื้อเยื่อ และปลูกแถบซูลที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุยา เป็นต้น โดยขั้นตอนในการเตรียมเจลคิแตามเริ่มจากการสกัดไซโลกลูแคนจากแป้งของเมล็ดมะขามด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม ในสภาวะ pH เป็นกรด ที่อุณหภูมิสูง แล้วทำให้เกิดการตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไซโลกลูแคนที่ได้มาเปลี่ยนโครงสร้าง (modified starch) ให้อยู่ในรูปของ dialdehyde และทำให้เกิดการโคพอลิเมอร์กันระหว่างไซโลกลูแคนและไคโตซานเกิดเป็นเจลคิแตามที่มีลักษณะใส ไม่มีสี

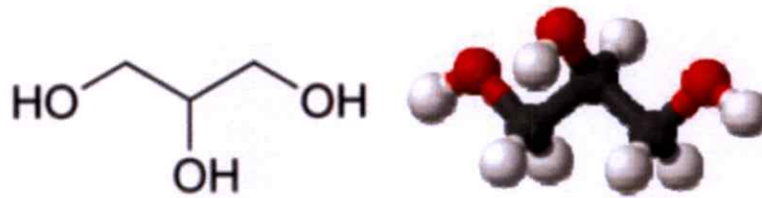
ขั้นตอนในการเตรียมเจลคิแตามจะละลายแป้งของเมล็ดมะขามด้วยน้ำในอัตราส่วนแป้งของเมล็ดมะขามต่อน้ำเป็น 1-10 ต่อ 10-20 ที่ pH เป็นกรดหรือด่าง (pH 2-10 แต่ช่วงที่ดีที่สุดคือ pH 4-8) โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 10-100°C (แต่ช่วงที่ดีที่สุดคือ 40-80 °C) จากนั้นทำให้เย็นลงโดยลดอุณหภูมิลงให้เหลือประมาณ 25-33°C แล้วตกตะกอนด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม เช่น เอทานอล (ethanol), เมทานอล (methanol), เบนซีน แอลกอฮอล์ (benzyl alcohol), ไอโซโพรพานอล (Isopropanol), ไอโซบิวทานอล (isobutanol), เอ็น บิวทานอล (n-butanol) ฯลฯ ที่ความเข้มข้น 10-100% (ปริมาตร/ปริมาตร) ซึ่งไซโลกลูแคนที่ตกตะกอนจะถูกนำมาทำแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศหรือ freeze dried จากนั้นนำผงของเจลคิแตามใส่ลงในน้ำหรือตัวทำละลายอื่นๆ เช่น ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (DMSO), ไดมิลฟอมาเรท (DMF), เตตระไฮโดรฟิวแรน (THF), ไดคลอโรมีเทน (dichloromethane), เฮกเซน (hexane), เบนซีน (benzene), อะซิโตน (acetone), กรดอะซิติก (acetic acid), กรดฟอร์มิก (formic acid) ฯลฯ ภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง (pH อยู่ในช่วง 7-14) แล้วกวนผสมสารดังกล่าวข้างต้นกับสารที่ทำให้เกิดออกซิเดชัน (oxidative reagents) ต่างๆ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide), โพแทสเซียมเพอริโอเดต (potassium periodate), โซเดียมเพอริโอเดต (sodium periodate) ที่อุณหภูมิ 2-10°C เป็นเวลา 1-15 ชั่วโมง และหยุดปฏิกิริยาด้วยการเติม ethylene glycol 1 มล. ไซโลกลูแคนที่ได้จะถูกทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีต่างๆ เช่น dialysis หรือ column chromatography จากนั้นนำไซโลกลูแคนที่บริสุทธิ์มาผสมกับ 1-10% ของไคโตซานในสภาวะที่เป็นกรด แล้วกวนผสมเป็นเวลา 1-5 นาที เพื่อทำให้เกิดพันธะเชื่อมข้าม (cross links) กันระหว่างไซโลกลูแคนและไคโตซานเกิดเป็นเจลที่เรียกว่า เจลคิแตาม

Ana et al. (2013) ได้ทำการผลิตฟิล์มบางหลายๆ ชั้นของไคตินนาโนคริสตัลกับไซโลกลูแคน โดยนำไคตินนาโนคริสตัลมาหยดลงบน silicon wafers จากนั้นหยดสารละลายไซโลกลูแคนทับลงบนไคตินนาโนคริสตัล โดยใช้อัตราเร่งของ silicon wafers ที่ 60 รอบต่อนาที หลังจากดูดซับเป็นเวลา 5 นาที จะถูกปั่นที่ความเร็วรอบ 3,600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 วินาที จากนั้นนำฟิล์มมาล้างด้วยน้ำ แล้วหยดไคตินนาโนคริสตัลสลับกับสารละลายไซโลกลูแคน จากนั้นทำซ้ำตามขั้นตอนเดิมที่กล่าวมาข้างต้น แต่ลดเวลาในการดูดซับลงเหลือ 10 วินาที จะได้ฟิล์มของไคตินนาโนคริสตัลกับไซโลกลูแคน

2.6 กลีเซอรอล

กลีเซอรอล (Glycerol) หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กลีเซอริน (Glycerin) เป็นชื่อที่มาจากคำในภาษากรีกว่า glykys หมายถึงความหวาน ซึ่งกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้จากการผลิตสบู่และกรดไขมัน

เป็นสารจำพวกโพลีไฮดรอลิกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohol) ไขมัน มีสูตรโมเลกุลคือ $C_3H_8O_3$ มีน้ำหนักโมเลกุล 92.09 กรัมต่อโมล และมีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3-โพรเพนไตรออล (1,2,3-propanetriol) จากภาพที่ 2.8 กlycerol มีโครงสร้างเป็นสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลเฉพาะพันธะเดี่ยว หรือที่เรียกว่า อัลเคน (alkane) ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ เป็นไฮดรอกซิลปฐมภูมิ (Primary hydroxyl) 2 หมู่ และหมู่ไฮดรอกซิลทุติยภูมิ (Secondary hydroxyl) 1 หมู่ ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลจะจับกับหมู่แอลคิล (alkyl group : R) 3 หมู่ (Jangerman, 1991) ทำให้ glycerol จัดเป็นสารประเภทมีขี้ผึ้ง และส่งผลให้ glycerol สามารถสารละลายได้ดีมากในน้ำและแอลกอฮอล์ (Windholz, 1976)



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีและแบบจำลอง 3 มิติ ของโมเลกุลของ glycerol
ที่มา: Jangerman (1991)

2.6.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ glycerol

glycerol มีคุณสมบัติเป็นของเหลวที่มีความหนืด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ มีรสหวาน 0.6 เท่าของน้ำตาล สามารถสารละลายได้ดีในน้ำและแอลกอฮอล์ และละลายในน้ำมันได้ดีพอสมควร (Windholz *et al.*, 1976) มีความดันไอน้ำต่ำ และไม่ระเหยที่อุณหภูมิปกติ (วิชา, 2546) นอกจากนี้ glycerol ยังสามารถทำปฏิกิริยาได้เหมือนกับแอลกอฮอล์ (Ayoub and Abdullah, 2012) จากตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ glycerol พบว่า glycerol ละลายได้ดีทั้งในน้ำ, เมทานอล, เอทานอล, ไอโซเมอร์ของโพรพานอล, บิวทานอล, เพนทานอล, รวมทั้ง ฟีนอล, โกลลอล, โพรเพนไดออลเอมีน, ไดเอทิลอีเทอร์, เอทิลเอสเทอร์, ไดออกเซน และสารประกอบที่เป็นเฮทเทอโรไซคลิก แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายจำพวกฮาโลเจน เช่น คลอโรฟอร์ม เป็นต้น (Perry *et al.*, 1997) ซึ่งการที่ glycerol ละลายได้ในสารหลายชนิด ทำให้ถูกนำมาใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมยาอาหารและเครื่องสำอาง เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่นิยมใช้มากที่สุดใน การเตรียมฟิล์มจากพอลิเมอร์ชีวภาพ (Ayoub *et al.*, 2012)

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล

สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	ข้อมูล
1) สูตรทางเคมี	$\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$ หรือ $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$
2) น้ำหนักโมเลกุล	92.09 กรัม/โมล
3) สถานะและสี	ของเหลว ไม่มีสี
4) ความถ่วงจำเพาะ	1.2605
5) ค่าดัชนีหักเหแสง	1.4746
6) จุดหลอมเหลว	17.9 °ซ
7) จุดเดือด	290 °ซ
8) สมบัติการละลายใน 100 ส่วน	
8.1) น้ำ	ละลายดีมาก
8.2) แอลกอฮอล์	ละลายดีมาก
8.3) อีเทอร์	ไม่ละลาย
9) ความร้อนของการหลอมเหลวที่ 18.07 °ซ	47.49 แคลอรี/กรัม
10) ความหนืดของกลีเซอรินเหลวที่	
10.1) ความบริสุทธิ์ 100%	10 cP
10.2) ความบริสุทธิ์ 50%	25 cP
11) การแพร่กระจายใน	
11.1) i-Amyl alcohol	0.12×10^5 ซม. ² /วินาที
11.2) เอทานอล	0.56×10^5 ซม. ² /วินาที
11.3) น้ำ	0.94×10^5 ซม. ² /วินาที

ที่มา: Perry *et al.* (1997)

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำกลีเซอรอลมาใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ (plasticizers) ในฟิล์ม

Tong *et al.* (2008) เติมกลีเซอรอลในฟิล์มที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพุลูลูแลน (pullulan), แอลจินेट (alginate) และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose: CMC) พบว่าการเติมกลีเซอรอลลดความสามารถในด้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มและเพิ่มความสามารถในการยืดตัวของฟิล์ม

Piermaria *et al.* (2009) เติมกลีเซอรอลในฟิล์มที่เตรียมจากคีเฟอร์ัน (Kefiran) พบว่า ฟิล์มที่ไม่มีกลีเซอรอลจะมีลักษณะเปราะและแข็ง โดยมีความสามารถในการต้านแรงดึงขาดสูง แต่มีความสามารถในการยืดตัวต่ำ ซึ่งการเติมกลีเซอรอลทำให้ความสามารถในการยืดตัวเพิ่มสูงขึ้น และมีความสามารถในการยืดตัวใกล้เคียงกับฟิล์มจากพอลิเมอร์สังเคราะห์

Ghasemlou *et al.* (2011) เติมกลีเซอรอลในฟิล์มที่เตรียมจากคีเฟอร์ัน (Kefiran) พบว่า การเติมกลีเซอรอลทำให้ฟิล์มคีเฟอร์ันมีความสามารถในการต้านแรงดึงขาดต่ำ แต่มีความสามารถในการยืดตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าสูงกว่าฟิล์มสังเคราะห์ เช่น โพลีเอสเตอร์ (polyester) และเซลโลเฟน (cellophane) เป็นต้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Matta *et al.* (2011) ซึ่งเติมกลีเซอรอลในฟิล์มที่เตรียมจากแป้งถั่วเขียวร่วมกับแซนแทน (xanthan gum) ก็พบว่าการเติมกลีเซอรอลทำให้ฟิล์มมีความสามารถในการต้านแรงดึงขาดลดลง แต่มีความสามารถในการยืดตัวสูงเพิ่มขึ้น

บทที่ 3

วัตถุดิบและวิธีดำเนินการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 ไคโตซาน (Shrimp chitosan polymer type 40 Mesh Pass, MW 1.14×10^6 ดาลตัน)

(Ta Ming enterprise Co., Ltd, ประเทศไทย)

3.1.1.2 ไซโลกลูแคน (MW อยู่ระหว่าง $3.42 \times 10^5 - 10.1 \times 10^5$ ดาลตัน) (บริษัท ปิ่นเพชร

จำกัด, ประเทศไทย)

3.1.2 สารที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มคีแตม

3.1.2.1 กลีเซอรอล 85% (Glycerol 85%) (Merck, ประเทศเยอรมัน)

3.1.2.2 กรดอะซิติก 5% (Acetic acid 5% (v/v)) (PFO FOOD Co., Ltd, ประเทศไทย)

3.2 สารเคมี

3.2.1 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper (II) sulphate) (Carlo Erna Reagents, ประเทศฝรั่งเศส)

3.2.2 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonat) (Ajaxfinechem, ประเทศออสเตรเลีย)

3.2.3 โซเดียมซิเตรต (Sodium citrate) (Ajaxfinechem, ประเทศออสเตรเลีย)

3.2.4 โซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต (Potassium sodium tartrate) (Carlo Erna Reagents, ประเทศฝรั่งเศส)

3.2.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) (Merck, ประเทศเยอรมัน)

3.2.6 ไดไนโตรซาลิไซลิก (Dinitrosalicylic acid, DNS) (Carlo Erna Reagents, ประเทศฝรั่งเศส)

3.2.7 เดกซ์โทรส โมโนไฮเดรต (Dextrose monohydrate) (บริษัท Pure chem. Co., Ltd., ประเทศไทย)

3.2.8 ทริปโตน (Tryptone) (Biokar diagnostics, ประเทศฝรั่งเศส)

3.2.9 เพปโตน (peptone) (Becton, Dickinson and company, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.2.10 สารสกัดจากยีสต์ (Yeast extract) (Biokar diagnostics, ประเทศฝรั่งเศส)

3.3 เครื่องมือวิเคราะห์และอุปกรณ์

- 3.3.1 เครื่องเขย่าตะแกรง (Sieve Shaker) รุ่น EFL 2000/2 (Endecotts, ประเทศอังกฤษ)
- 3.3.2 เครื่องเขย่าสาร รุ่น G560E (Scientific Industries, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.3.3 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.3.4 เครื่องตีปนอาหาร (BagMixer, 400 interscience, ประเทศฝรั่งเศส)
- 3.3.5 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Tomy, Es-315, ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.3.6 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส รุ่น TA.XT plus (Stable Micro system, ประเทศอังกฤษ)
- 3.3.7 เครื่องวัดพีเอช (Mettler Toledo, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.3.8 เครื่องวัดยูวีวิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UV-1601 (Bara Scientific Co., Ltd., ประเทศไทย)
- 3.3.9 เครื่องอบเจล (Shimadzu Corp., ประเทศออสเตรเลีย)
- 3.3.10 ไมโครมิเตอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น 103-137 (Mitutoyo (thailand) Co., Ltd., ประเทศไทย)
- 3.3.11 ไมโครปิเปต (Mettler Toledo, Pipet-Lite XLS, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.3.12 ตู้บ่มเชื้อ (Mettmert, Model 400, ประเทศเยอรมัน)
- 3.3.13 Bamix Hand Blender (ประเทศสวีเดน)
- 3.3.14 Digital Dual-Range Mixer รุ่น RW 20 (IKA Works (Thailand), ประเทศไทย)
- 3.3.15 Differential scanning calorimeter (DSC) ยี่ห้อ Netzsch รุ่น DSC 204 F1 (ประเทศเยอรมัน)
- 3.3.16 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ยี่ห้อ Thermo scientific รุ่น Nicolet 6700 (ประเทศเยอรมัน)
- 3.3.17 Scanning Electron Microscopy (SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น LEO 1455 VP (ประเทศเยอรมัน)
- 3.3.18 Water bathg (Mettmert, WB-29, ประเทศเยอรมัน)
- 3.3.19 X-ray Diffractometer (XRD) ยี่ห้อ Bruker AXS รุ่น D8 Advance (ประเทศเยอรมัน)

3.4 วิธีการดำเนินงาน

3.4.1 การผลิตฟิล์มคีแตม

กำหนดอัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อโคโคซานที่ใช้ในการผลิตฟิล์มคีแตมดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อโคโคซานที่ใช้ในการผลิตฟิล์มคีแตม

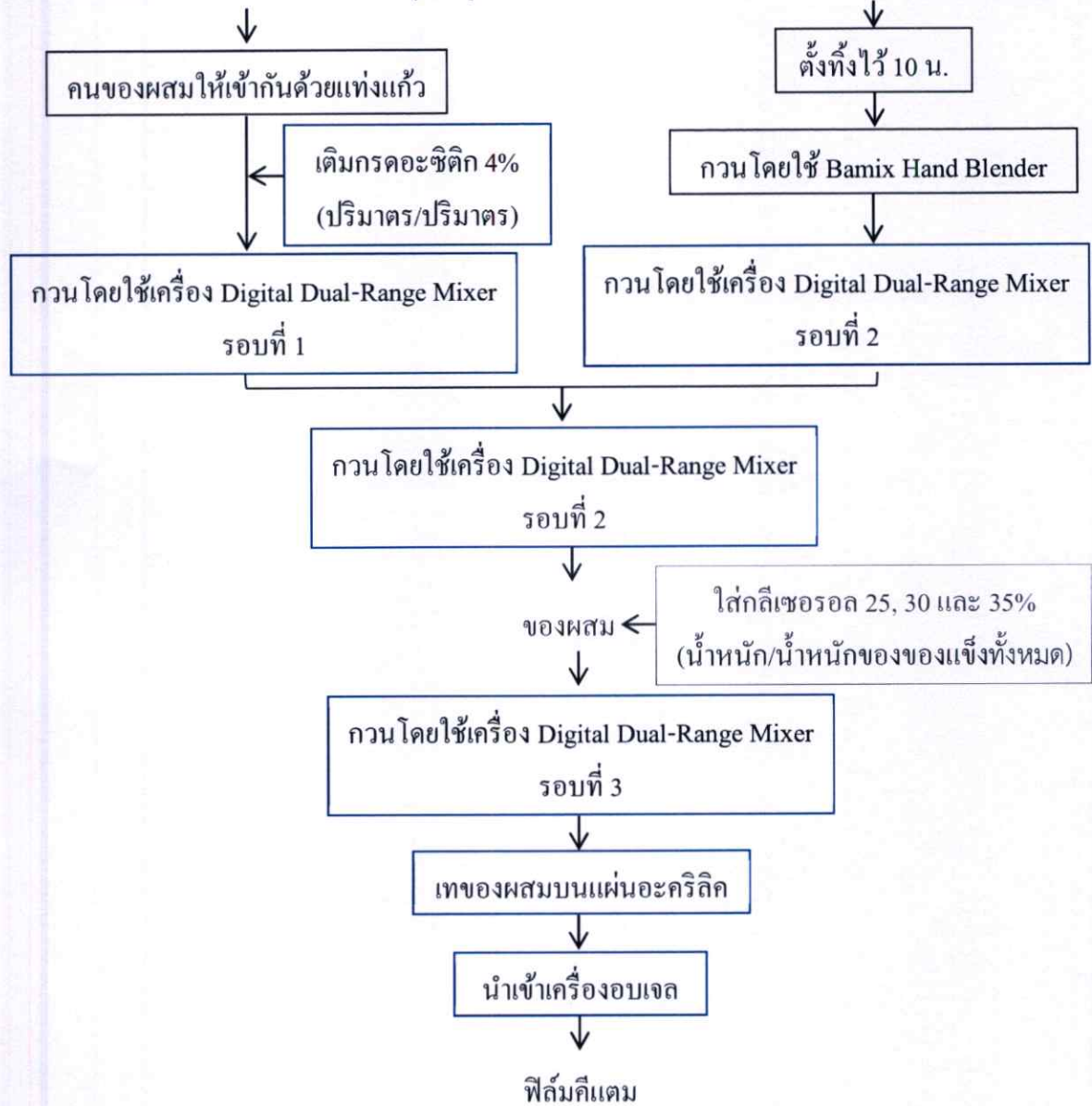
อัตราส่วนของโคโคซาน ต่อไซโลกลูแคน	ไซโลกลูแคน (กรัม)	โคโคซาน (กรัม)	กลีเซอรอล (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)
			25
0:1	0.00	0.25	30
			35
			25
1:1	0.25	0.25	30
			35
			25
2:1	0.50	0.25	30
			35
			25
3:1	0.75	0.25	30
			35
			25
4:1	1.00	0.25	30
			35

จากภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตฟิล์มคีแตม แบ่งสารละลายออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ สารละลายของไซโลกลูแคนและสารละลายโคโคซาน (ตารางที่ 3.1) โดยในส่วนของสารละลายไซโลกลูแคน นำไซโลกลูแคน 0.00 กรัม, 0.25 กรัม, 0.50 กรัม, 0.75 กรัม และ 1.00 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นร้อนที่อุณหภูมิ 85°C ปริมาณ 10 มล. โดยใช้แท่งแก้วคนสารคนของผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที (คนจนไซโลกลูแคนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน) จากนั้นเติมกรดอะซิติก 4% (v/v) ปริมาณ 25 มล. แล้วนำสารละลายไซโลกลูแคนที่ได้ไปกวนด้วยเครื่อง Digital Dual-Range Mixer ที่ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที และในส่วนของสารละลายโคโคซาน นำโคโคซาน 0.25 กรัม มาละลายกรดอะซิติก 4% (v/v) ปริมาณ 25 มล. ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จนโคโคซานละลาย แล้วกวนด้วยเครื่อง

Bamix Hand Blender ที่ระดับความเร็วสูงสุด ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นกวนสารละลาย โคลโตซานด้วยเครื่อง Digital Dual-Range Mixer ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงเทสารละลายทั้ง 2 ส่วนผสมรวมกัน แล้วกวนต่อด้วยเครื่อง Digital Dual-Range Mixer ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติมกลีเซอรอล 25, 30 และ 30% (น้ำหนัก/ น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด) ตามลำดับ แล้วกวนต่อด้วยเครื่อง Digital Dual-Range Mixer ที่ความเร็ว รอบ 220 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเทของผสมลงบนแผ่นอะคริลิกขนาด 20×24 ซม. นำเข้าเครื่องอบเจล ที่อุณหภูมิ 37.5°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วจึงลอกแผ่นฟิล์มออก นำฟิล์มที่ ผลิตได้มาทำการทดลองในขั้นต่อไป

ไซโลกลูเคน 0.00 กรัม, 0.25 กรัม, 0.50 กรัม, 0.75 กรัม
และ 1.00 กรัม + น้ำกลั่น 10 มล. ที่อุณหภูมิ 85 °ซ

ไคโตซาน 0.25 กรัม + กรดอะซิติก
4% (ปริมาตร/ปริมาตร) 25 มล.



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตฟิล์มคีแตม

3.4.2 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรด (Acid Hydrolysis) ที่พันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ของไซโลกลูแคน และศึกษาการเกิดหมู่แอลดีไฮด์ของไซโลกลูแคน

1) การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar)

วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดที่พันธะไกลโคไซด์ของไซโลกลูแคน โดยนำไซโลกลูแคนไซโลกลูแคน 0.00 กรัม, 0.25 กรัม, 0.50 กรัม, 0.75 กรัม และ 1.00 กรัม (น้ำหนัก/ปริมาตร) ตามลำดับ มาละลายในน้ำกลั่นร้อนที่อุณหภูมิ 85°C ปริมาณ 10 มล. โดยใช้แท่งแก้วคนสารคนของผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที (คนจนไซโลกลูแคนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน) จากนั้นเติมกรดอะซิติก 4% (ปริมาตร/ปริมาตร) ปริมาณ 25 มล. แล้วนำสารละลายไซโลกลูแคนที่ได้ไปกวนด้วยเครื่อง Digital Dual-Range Mixer ที่ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง จากนั้นเปิดสารละลายไซโลกลูแคน 1 มล. ทุกๆ 10, 20 และ 30 นาที ตามลำดับ มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยดัดแปลงวิธีการจาก Chaplin (1986)

2) การทดสอบด้วยวิธีเบนเนดิกต์ (Benedict's test)

ศึกษาการเกิดหมู่แอลดีไฮด์ของไซโลกลูแคน โดยการทดสอบด้วยวิธีเบนเนดิกต์

3.4.3 ศึกษาผลของไซโลกลูแคนและกลีเซอรอลที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูแคนและโคโคซานในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มตีแตม

1) X-ray Diffractometer (XRD)

วิเคราะห์การจัดเรียงตัวโครงสร้างระดับจุลภาคของฟิล์มตีแตม ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เรียงตัวเป็นระเบียบ เรียกว่า ส่วนผลึก (Crystalline) และส่วนที่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ เรียกว่า ออสันฐาน (Amorphous) โดยใช้เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) ยี่ห้อ Bruker AXS รุ่น D8 Advance ประเทศเยอรมัน

2) Differential scanning calorimeter (DSC)

วิเคราะห์ความเป็นผลึก (crystallinity) และวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลวของผลึก (melting point) ของฟิล์มตีแตมที่ผลิตได้ ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) ยี่ห้อ Netzsch รุ่น DSC 204 F1 ประเทศเยอรมัน

สภาวะที่ใช้วิเคราะห์

1. อุณหภูมิที่ใช้ในวิเคราะห์ คือ ตั้งแต่ 30 °C ถึง 300 °C
2. อัตราการให้ความร้อน 10 °C/นาที
3. อัตราการเย็นตัว 10 °C/นาที
4. สภาวะแก๊สที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ แก๊สไนโตรเจน

5. ความละเอียดในการวิเคราะห์แบบ First run

3) FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

วิเคราะห์หาชนิดหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มกึ่งเคลือบ ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ยี่ห้อ Thermo scientific รุ่น Nicolet 6700 ประเทศเยอรมัน โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Attenuated total reflectance – Fourier transform infrared (ATR-FTIR)

4) Scanning electron microscope (SEM)

ศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์มกึ่งเคลือบที่ผลิตได้ โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น LEO 1455 VP ประเทศเยอรมัน ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

3.4.3 ศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มกึ่งเคลือบที่ผลิตได้

1) ความหนา (Thickness)

วัดความหนาของฟิล์มกึ่งเคลือบที่ผลิตได้ด้วยไมโครมิเตอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น 103-137 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ISO 4593:1993 (ISO standard, 1993) ซึ่งจะสุ่มวัด 5 ตำแหน่งบนชิ้นตัวอย่างทดสอบที่มีขนาด 5x5 ตร.ซม. แล้วหาค่าเฉลี่ยความหนาของฟิล์มกึ่งเคลือบ

2) ความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มกึ่งเคลือบ

(Tensile strength and Elongation)

โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตาม ASTM D 882 ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัวของแผ่นฟิล์มและซีทพลาสติกบางที่มีความหนาน้อยกว่า 1 มม. หรือ 0.04 นิ้ว โดยตัดตัวอย่างฟิล์มให้มีขนาด 2x4 ซม. แล้วนำมาวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) รุ่น TA.XT Plus โดยใช้หัววัด A/TG

3) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapour transmission rate)

โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ ASTM E 96/E96M-16 Water vapor transmission of Materials ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำผ่านของฟิล์มพลาสติกชีวภาพที่มีความหนาของชิ้นงานไม่เกิน 32 มม. หรือ 1.25 นิ้ว ในการทดสอบจะให้ด้านหนึ่งของตัวอย่างทดสอบสัมผัสกับความชื้นสูงขณะที่อีกด้านหนึ่งจะสัมผัสกับความชื้นต่ำ

สภาวะที่ใช้วิเคราะห์

1. อุณหภูมิ 38°C
2. ความชื้นสัมพัทธ์ 90%

4) ความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial activity)

โดยวางฟิล์มกึ่งเคลือบทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อทำให้เกิดการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม (Contamination) จากนั้นนำฟิล์มกึ่งเคลือบมาวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (Total viable count) โดยดัดแปลงวิธีการจาก Semi *et al.* (2009)

3.4.4 การวางแผนการทดลอง

โดยจัดตั้งการทดลองแบบแฟกทอเรียลลงในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Factorial Experiment in CRD) ซึ่งมีปัจจัยในการศึกษา 2 ปัจจัย คือ ไซโลกลูแคน แบ่งออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ไซโลกลูแคน 0.00, 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 กรัม (น้ำหนัก/ปริมาตร) ตามลำดับ ต่อโคโตซาน 0.25 กรัม (น้ำหนัก/ปริมาตร) และใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ กลีเซอรอล 25, 30 และ 35% (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด) ตามลำดับ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม IBM SPSS statistics เวอร์ชัน 21 เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละคู่ทรีตเมนต์ด้วยวิธี Duncan Multiple Rank Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($P \leq 0.05$) ซึ่งการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยได้จากการทำการทดลอง 3 ซ้ำการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรด (Acid Hydrolysis) ที่พันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ของไซโลกลูแคน และผลการศึกษาการเกิดหมู่แอลดีไฮด์ของไซโลกลูแคน

1) ผลการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดที่พันธะไกลโคไซด์ของไซโลกลูแคน โดยการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดของไซโลกลูแคน

จากตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณไซโลกลูแคนและเวลาที่ใช้ในการกวนคนสารละลายไซโลกลูแคนที่ละลายอยู่ในสารละลายกรดอะซิติก 4% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่มีผลต่อปริมาณการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ของไซโลกลูแคน และตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไซโลกลูแคนและเวลาที่ใช้ในการกวนคนสารละลายไซโลกลูแคนที่มีผลต่อปริมาณการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ของไซโลกลูแคน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณไซโลกลูแคนและเวลาที่ใช้ในการกวนคนสารละลายไซโลกลูแคนที่ผสมอยู่ในกรดอะซิติก 4% มีผลทำให้ปริมาณการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ของไซโลกลูแคนมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งปริมาณการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ของไซโลกลูแคนนี้สามารถบ่งบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่พันธะไกลโคไซด์ของไซโลกลูแคนด้วยกรดอะซิติก 4% เนื่องจากในสภาวะที่เป็นกรด pH ประมาณ 3 พันธะไกลโคซิดิกของไซโลกลูแคนจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรด ส่งผลให้วงแหวนของไซโลกลูแคนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เปิดออกเกิดเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gladysenko (2011) ที่กล่าวว่า กรดอะซิติกที่ pH ประมาณ 2.87 ถึง 3.15 สามารถไฮโดรไลซ์เซลลูโลสได้ นอกจากนี้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดจะทำให้มีปริมาณโปรตอน (H^+) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งโปรตอนจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้เกิดเร็วขึ้น

ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณไซโลกลูแคนและเวลาที่ใช้ในการกวนคนสารละลายไซโลกลูแคนที่ละลายอยู่ในสารละลายกรดอะซิติก 4% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่มีผลต่อปริมาณการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ของไซโลกลูแคน

เวลา (นาที)	ไซโลกลูแคน (น้ำหนัก/ปริมาตร)	ปริมาณการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ (มก./มล.)
0	0.25 ก.	71.79±0.88 ^k
	0.50 ก.	97.40±1.88 ^j
	0.75 ก.	109.65±0.50 ⁱ
	1.00 ก.	121.60±1.13 ^h

มีต่อ

ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณไซโลกลูแคนและเวลาที่ใช้ในกวนคนสารละลายไซโลกลูแคนที่ละลายอยู่ในสารละลายกรดอะซิติก 4% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่มีผลต่อปริมาณการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ของไซโลกลูแคน (ต่อ)

เวลา (นาท)	ไซโลกลูแคน (น้ำหนัก/ปริมาตร)	ปริมาณการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ (มก./มล.)
10	0.25 ก.	76.52±2.11 ^k
	0.50 ก.	113.19±3.13 ^{hi}
	0.75 ก.	179.81±1.22 ^d
	1.00 ก.	220.79±1.63 ^c
20	0.25 ก.	139.04±1.24 ^g
	0.50 ก.	162.31±16.49 ^c
	0.75 ก.	175.92±0.26 ^d
	1.00 ก.	245.46±1.12 ^b
30	0.25 ก.	148.42±12.52 ^f
	0.50 ก.	237.98±4.45 ^b
	0.75 ก.	245.15±0.84 ^b
	1.00 ก.	263.23±1.05 ^a

หมายเหตุ: ^{a-k} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไซโลกลูแคนและเวลาที่ใช้ในกวนคนสารละลายไซโลกลูแคนที่ละลายอยู่ในสารละลายกรดอะซิติก 4% (ปริมาตร/ปริมาตร) ที่มีผลต่อปริมาณการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ของไซโลกลูแคน

ปัจจัย	ปริมาณการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์
ปริมาณไซโลกลูแคน (X_1)	0.608**
เวลาที่ใช้ในกวนคนสารละลายไซโลกลูแคนที่ละลายอยู่ในสารละลายกรดอะซิติก 4% (X_2)	0.730**
อิทธิพลระหว่างปริมาณไซโลกลูแคนกับเวลาที่ใช้ในกวนคนสารละลายไซโลกลูแคนที่ละลายอยู่ในสารละลายกรดอะซิติก 4% (X_1X_2)	0.767**

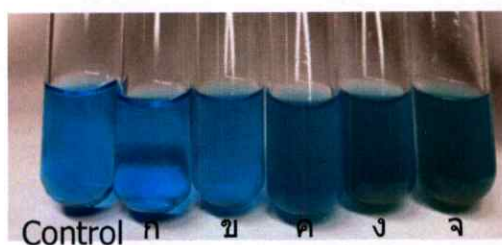
หมายเหตุ: ** ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p \leq 0.01$)

2) ผลการเกิดหมู่แอลดีไฮด์ของไซโลกลูแคน โดยการทดสอบด้วยวิธีเบนดิกต์ (Benedict's test) จากตารางที่ 4.3, ภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 ผลการเกิดตะกอนสีแดงอิฐของคิวพรัสออกไซด์ (Cu_2O) ของไซโลกลูแคนและไคโตซานที่ละลายอยู่ในสารละลายกรดอะซิติก 4 % (ปริมาตร/ปริมาตร) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณไซโลกลูแคนและเวลาที่ใช้ในกวนคนสารละลายไซโลกลูแคนที่ละลายอยู่ในกรดอะซิติก 4% (ปริมาตร/ปริมาตร) จาก 0 นาที เป็น 30 นาที มีผลทำให้เกิดตะกอนสีแดงอิฐของคิวพรัสออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเกิดตะกอนสีแดงอิฐของคิวพรัสออกไซด์สามารถบ่งบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่พันธะไกลโคไซด์ของไซโลกลูแคนด้วยกรดอะซิติก 4% (ปริมาตร/ปริมาตร) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ตารางที่ 4.1) ซึ่งที่ pH ประมาณ 3 พันธะไกลโคไซด์ของไซโลกลูแคนจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรด ส่งผลให้วงแหวนของไซโลกลูแคนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหมู่ไฮดรอกซิลเปิดออกเกิดเป็น free-OH จากนั้น free-OH จะถูกออกซิไดซ์เป็นแอลดีไฮด์ (-CHO) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gladysenko (2011) และในส่วนของไคโตซานเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในกวนคนสารละลายไคโตซานที่ละลายอยู่ในกรดอะซิติก 4 % (ปริมาตร/ปริมาตร) จาก 0 นาที เป็น 30 นาที มีผลทำให้เกิดตะกอนสีแดงอิฐของคิวพรัสออกไซด์ขึ้น แสดงให้เห็นว่า กรดอะซิติก 4 % (ปริมาตร/ปริมาตร) สามารถไฮโดรไลซ์ไคโตซานได้เช่นเดียวกันกับไซโลกลูแคน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohammad *et al.* (2013) ที่กล่าวว่า สารละลายกรดที่ pH น้อยกว่า 3.5 สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรซิสของไคโตซานได้เพียงเล็กน้อย ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรซิสของไคโตซานจะเกิดได้ดีในสถานะที่ pH น้อยกว่า 3.5 อุณหภูมิ 65 °C เวลา 300 นาที และเมื่อสารละลายกรดมี pH มากกว่า 4.5 จะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรซิสของไคโตซานได้

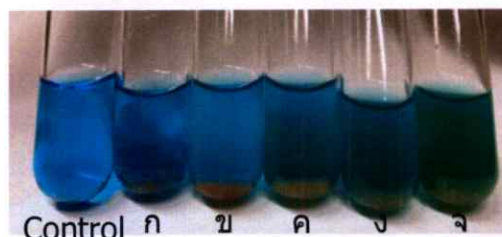
ตารางที่ 4.3 ผลการเกิดตะกอนสีแดงอิฐของคิวพรัสออกไซด์ (Cu_2O) ของไซโลกลูแคนและไคโตซานที่ละลายอยู่ในสารละลายกรดอะซิติก 4 % (ปริมาตร/ปริมาตร)

เวลา (นาที)	ไคโตซาน		ไซโลกลูแคน (น้ำหนัก/ปริมาตร)		
	0.25 ก.	0.25 ก.	0.50 ก.	0.75 ก.	1.00 ก.
0	-	+	+	++	++
30	+	++	+++	++++	++++

หมายเหตุ: - คือ ไม่พบตะกอนสีแดงอิฐของคิวพรัสออกไซด์ (Cu_2O)
 + คือ พบปริมาณตะกอนสีแดงอิฐของคิวพรัสออกไซด์ (Cu_2O) เล็กน้อย
 ++ คือ พบปริมาณตะกอนสีแดงอิฐของคิวพรัสออกไซด์ (Cu_2O) ปานกลาง
 +++ คือ พบปริมาณตะกอนสีแดงอิฐของคิวพรัสออกไซด์ (Cu_2O) มาก
 ++++ คือ พบปริมาณตะกอนสีแดงอิฐของคิวพรัสออกไซด์ (Cu_2O) มากที่สุด



ภาพที่ 4.1 ผลการเกิดตะกอนสีแดงอิฐของคิวพรัสออกไซด์ (Cu_2O) ของ ก.) โคลโตซาน ข.), ค.), ง.) และ จ.) ไชโลกุลูแคน 0.25 ก., 0.50 ก., 0.75 ก. และ 1.00 ก. ตามลำดับ ที่เวลา 0 นาที

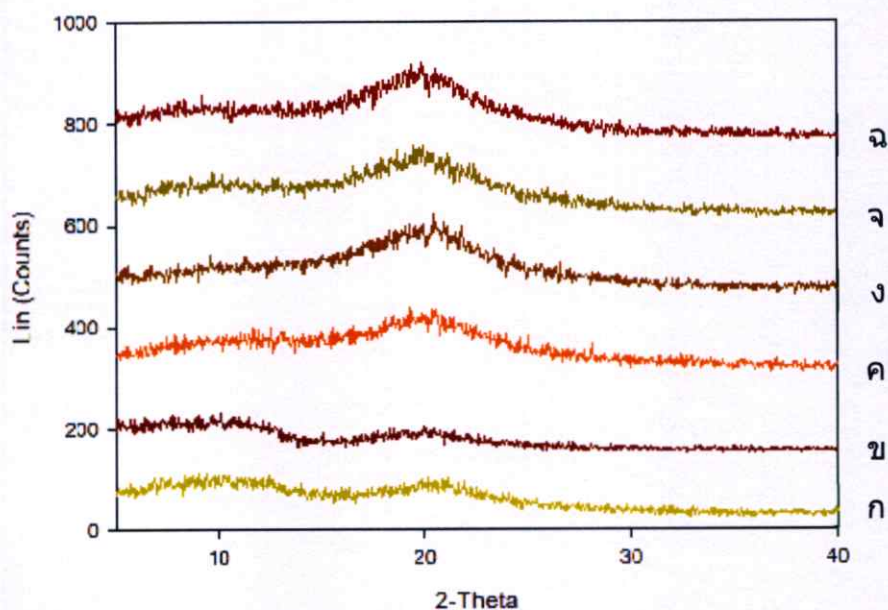


ภาพที่ 4.2 ผลการเกิดตะกอนสีแดงอิฐของคิวพรัสออกไซด์ (Cu_2O) ของ ก.) โคลโตซาน ข.), ค.), ง.) และ จ.) ไชโลกุลูแคน 0.25 ก., 0.50 ก., 0.75 ก. และ 1.00 ก.ตามลำดับ ที่เวลา 30 นาที

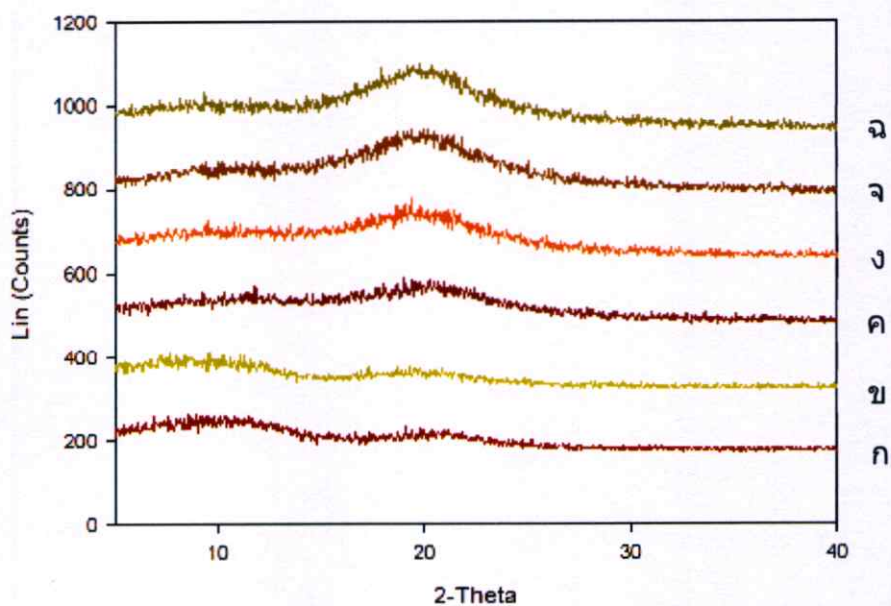
4.2 ผลของไชโลกุลูแคนและกลีเซอรอลที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไชโลกุลูแคนและโคลโตซานในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มกึ่งแอม

1) X-ray Diffractometer (XRD)

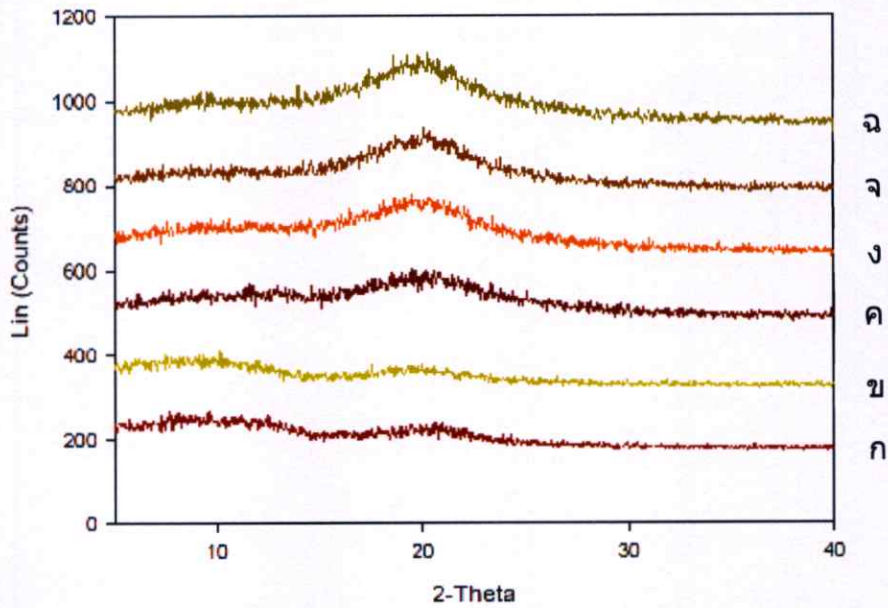
จากกราฟ X-ray diffraction pattern ของฟิล์มโคลโตซาน ฟิล์มไชโลกุลูแคน และฟิล์มกึ่งแอม โดยเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด) ตามลำดับ (ภาพที่ 4.3, ภาพที่ 4.4 และภาพที่ 4.5 ตามลำดับ) พบว่า ฟิล์มโคลโตซานและฟิล์มไชโลกุลูแคนแสดงพีคสูงสุดของผลึกที่ 10° ส่วนฟิล์มกึ่งแอมที่อัตราส่วนไชโลกุลูแคนต่อโคลโตซานต่างๆ แสดงพีคสูงสุดของผลึกที่ 20° เมื่อเพิ่มปริมาณของไชโลกุลูแคนพีคของผลึกจะสูงขึ้นและมีพื้นที่ใต้กราฟเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าฟิล์มกึ่งแอมที่ผลิตได้มีสัดส่วนความเป็นผลึกเพิ่มมากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามพีคของผลึกที่ 10° จะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของไชโลกุลูแคน เนื่องจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไชโลกุลูแคนและโคลโตซานจะทำให้พันธะไฮโดรเจนที่แสดงพีคของผลึกที่ 10° ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Simi (2009) ที่กล่าวว่า พีคของผลึกที่ 20° บ่งบอกถึงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไชโลกุลูแคนและโคลโตซาน และพันธะไฮโดรเจนของไชโลกุลูแคนจะลดลงเมื่อเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไชโลกุลูแคนและโคลโตซานเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณของกลีเซอรอลที่เพิ่มมากขึ้นไม่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไชโลกุลูแคนและโคลโตซานในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มกึ่งแอม



ภาพที่ 4.3 X-ray diffraction pattern ของ ก) โคลโตซาน ข) ไซโลกลูแคน
 ค) อัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อโคลโตซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 และ ฉ) 4:1 ตามลำดับ
 โดยเติมกลีเซอรอล 25% (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)



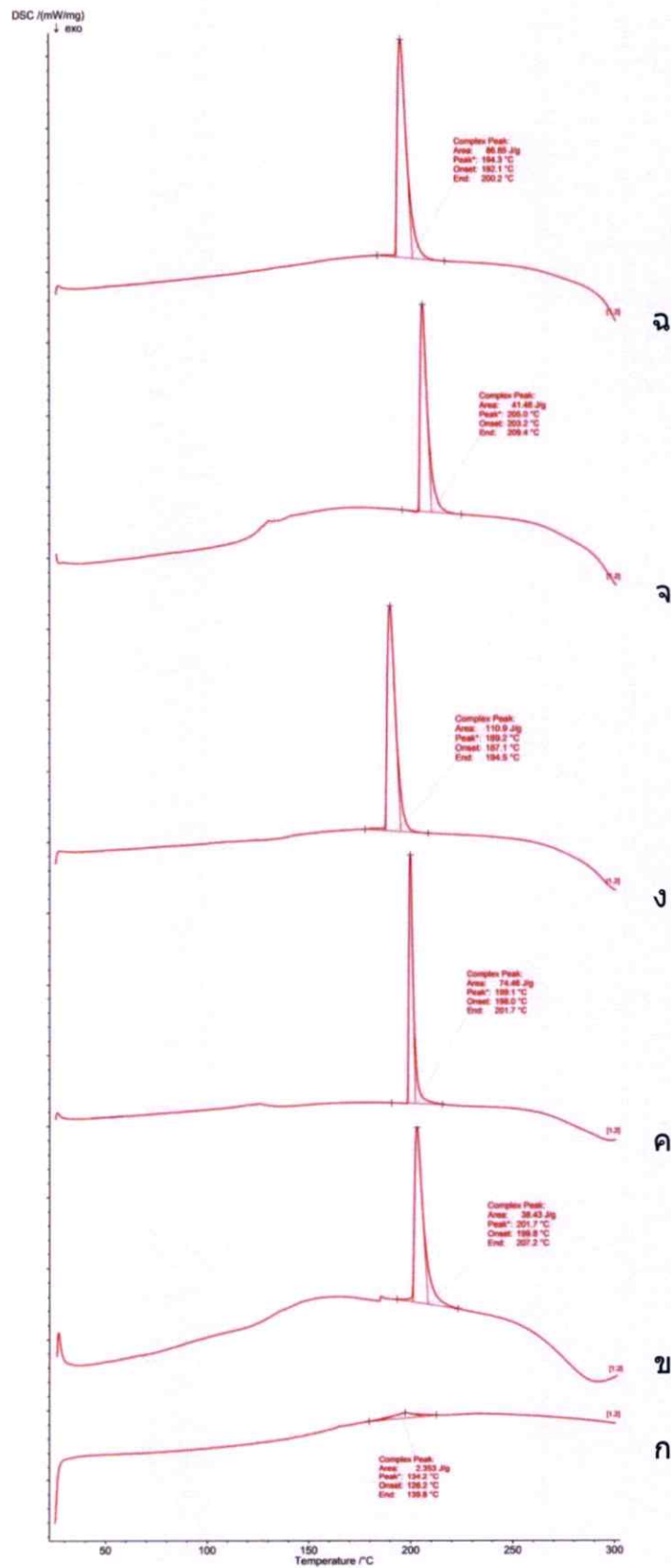
ภาพที่ 4.4 X-ray diffraction pattern ของ ก) โคลโตซาน ข) ไซโลกลูแคน
 ค) อัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อโคลโตซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 และ ฉ) 4:1 ตามลำดับ
 โดยเติมกลีเซอรอล 30% (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)



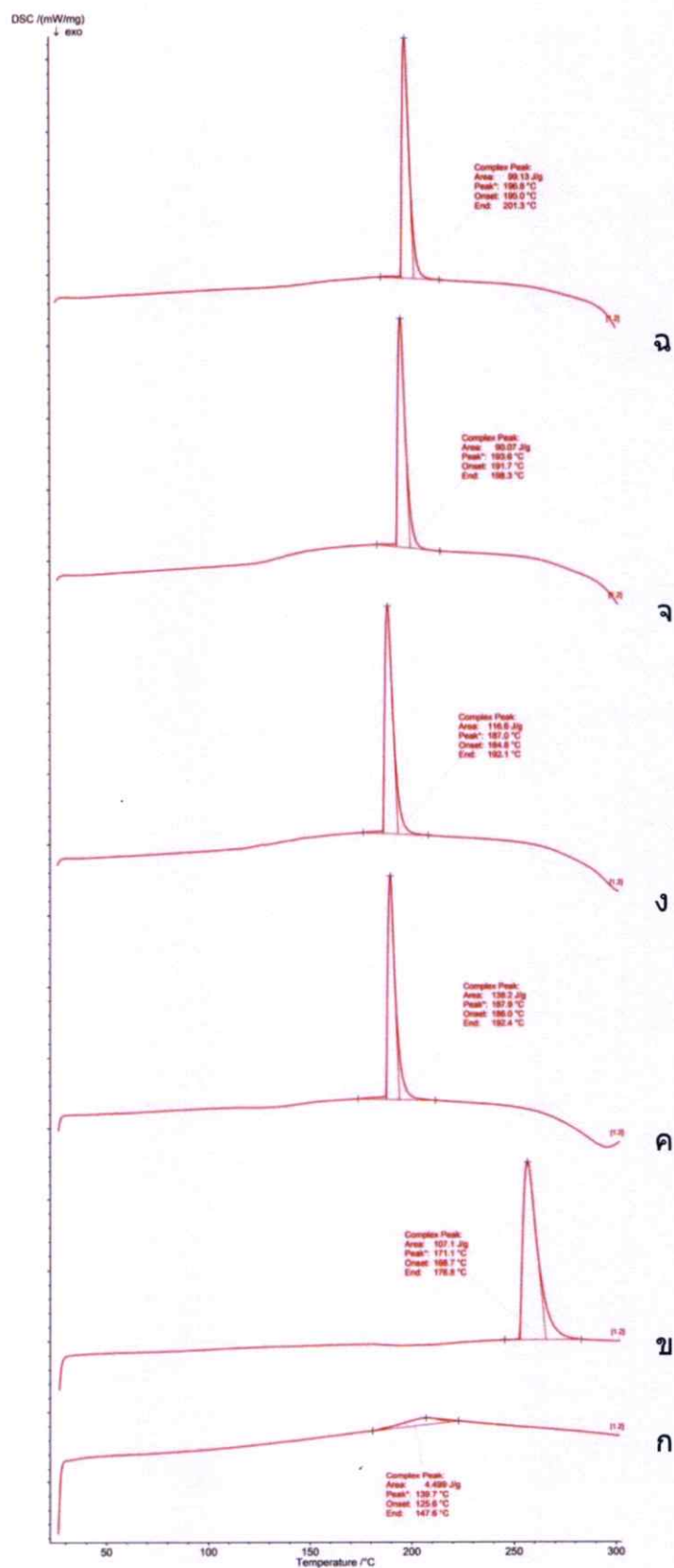
ภาพที่ 4.5 X-ray diffraction pattern ของ ก) โคลโคซาน ข) ไชโลกุแคน
ค) อัตราส่วนของไชโลกุแคนต่อโคลโคซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 และ ฉ) 4:1 ตามลำดับ
โดยเติมกลีเซอรอล 35% (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)

2) Differential scanning calorimeter (DSC)

เมื่อฟิล์ม ไชโลกุแคน ฟิล์มโคลโคซาน และฟิล์มคิแตมได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 30°C จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 300°C อัตราการให้ความร้อน $10^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$ ในสภาวะแก๊สไนโตรเจนจะพบการปรากฏตัวของพีคการหลอมตัวของผลึกหรือพีคของการดูดความร้อน (endothermic peak) ของผลึกของฟิล์มต่างๆ ที่แตกต่างกัน ซึ่งพีคการหลอมตัวของผลึกบ่งบอกถึงเอนทัลปีและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำลายโครงสร้างของผลึกให้เปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลว จากผลการวิเคราะห์ Differential scanning calorimeter (DSC) ดังแสดงในภาพที่ 4.6, ภาพที่ 4.7 และภาพที่ 4.8 พบว่า พีคการหลอมตัวของผลึกของฟิล์ม ไชโลกุแคนจะมีลักษณะต่ำที่สุด รองลงมา คือ พีคการหลอมตัวของผลึกของฟิล์ม-โคลโคซาน และพีคการหลอมตัวของผลึกของฟิล์มคิแตมจะมีลักษณะสูงที่สุด ซึ่งเมื่อเพิ่มอัตราส่วน ไชโลกุแคนต่อโคลโคซานเป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 ตามลำดับ มีผลทำให้เอนทัลปีที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึกมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ฟิล์ม ไชโลกุแคน, ฟิล์มโคลโคซาน และฟิล์มคิแตมจะต้องใช้ อุณหภูมิ 126.3°C ถึง 139.7°C , 201.7°C ถึง 215.7°C และ 187.0°C ถึง 205.0°C ตามลำดับ ในการหลอมเหลวผลึก ซึ่งปริมาณของกลีเซอรอลที่เพิ่มมากขึ้นไม่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง ไชโลกุแคนและโคลโคซานในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มคิแตม จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถยืนยันได้ว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง ไชโลกุแคนและโคลโคซานขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มคิแตมจริงๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลการผลการวิเคราะห์ XRD



ภาพที่ 4.6 ทอร์โมแกรมแสดงพีคการหลอมตัวของผลิตภัณฑ์ของ ก) ไซโลกลูแคน ข) ไคโตซาน
 ค) อัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อไคโตซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 และ ฉ) 4:1 ตามลำดับ
 โดยเติมกลีเซอรอล 25 % (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)



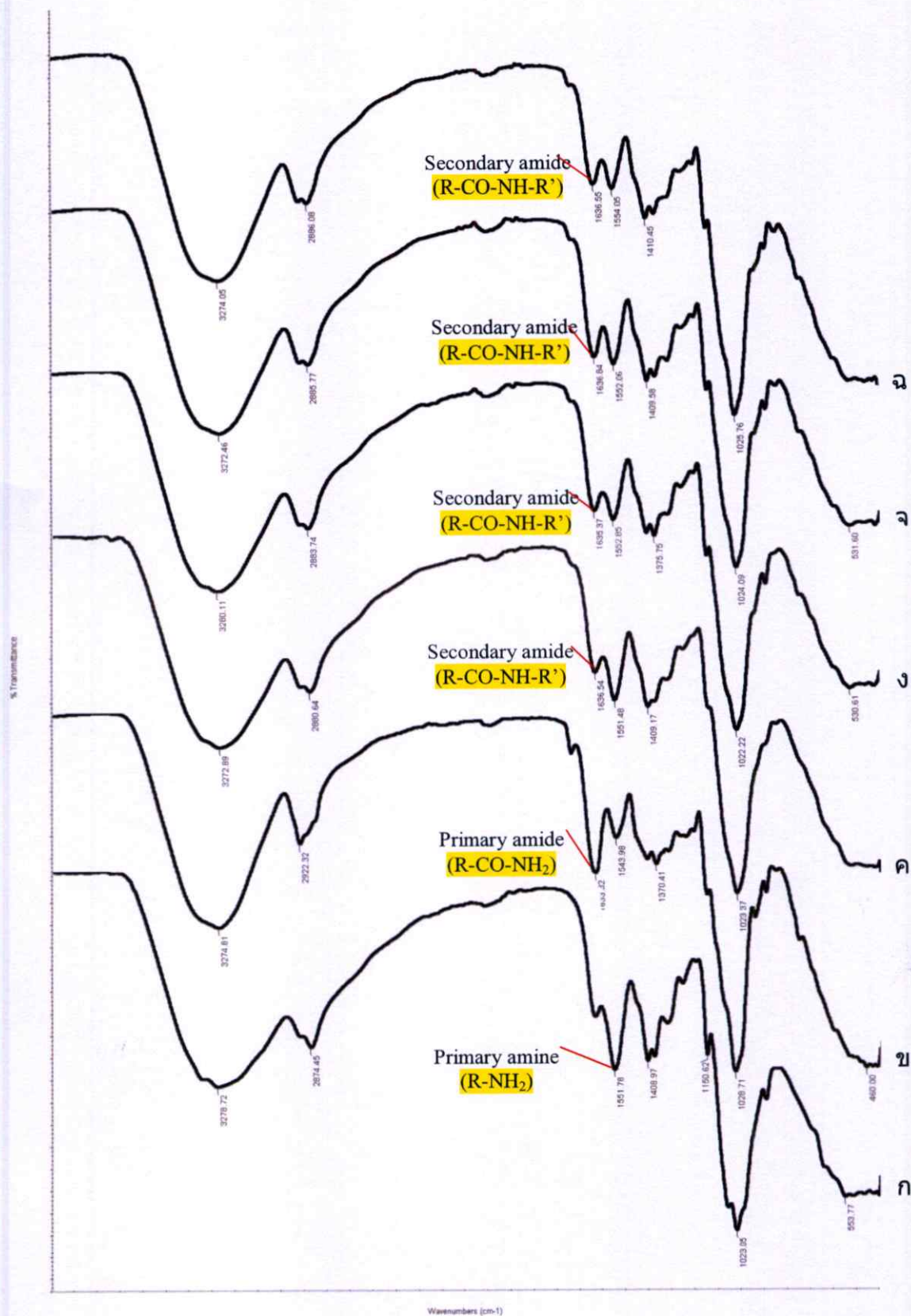
ภาพที่ 4.7 ทอร์โมแกรมแสดงพีคการหลอมตัวของผลึกของ ก) ไซโลกลูแคน ข) โคลโตซาน
 ค) อัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อโคลโตซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 และ ฉ) 4:1 ตามลำดับ
 โดยเติมกลีเซอรอล 30 % (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)



ภาพที่ 4.8 ทอร์โมแกรมแสดงพีคการหลอมตัวของผลึกของ ก) ไซลากลูแคน ข) โคโตซาน
ค) อัตราส่วนของไซลากลูแคนต่อโคโตซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 และ ฉ) 4:1 ตามลำดับ
โดยเติมกลีเซอรอล 35 % (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)

3) FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

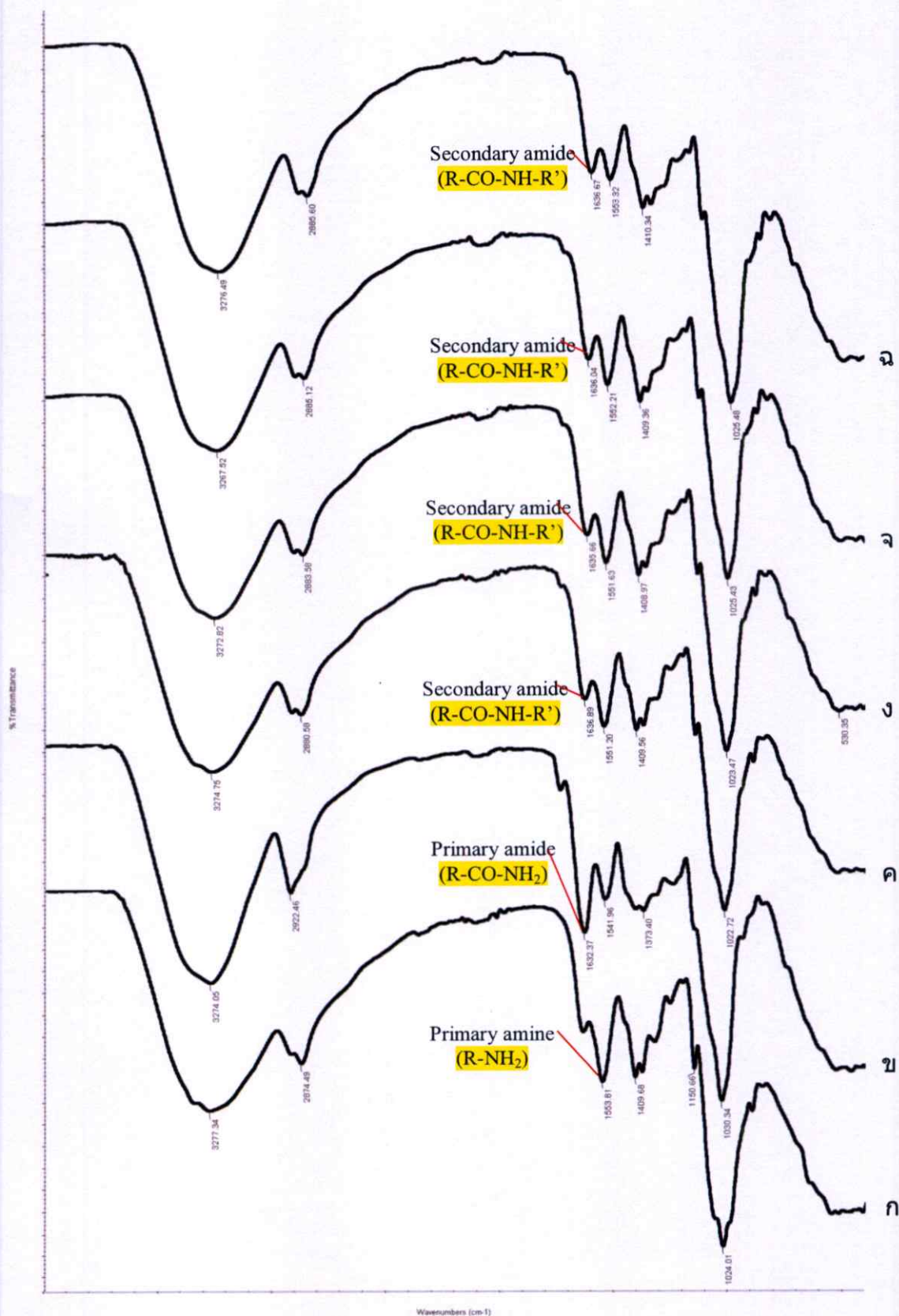
ในขั้นตอนการใส่กรดอะซิติก 4% (ปริมาตร/ปริมาตร) ซึ่งที่ pH ประมาณ 3 จะทำให้พันธะไกลโคซิดิกของไซโลกลูแคนถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรด ส่งผลให้วงแหวนของไซโลกลูแคนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เปิดออกและเกิดเป็นหมู่แอลดีไฮด์ (-CHO) ขึ้น จากนั้นจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างหมู่แอลดีไฮด์ (-CHO) ของไซโลกลูแคนและหมู่อะมิโน (-NH₂) ของไคโตซานเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ที่เรียกว่า คีแตม (Chitam) ซึ่งสามารถยับยั้งการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของคีแตมได้โดยดูจากผลการวิเคราะห์ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ดังแสดงในภาพที่ 4.9, ภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.11 ตามลำดับ พบว่า फिल्मไคโตซานมีพีคที่ Wavenumbers 1,550.46 cm⁻¹ ถึง 1,553.81 cm⁻¹ ปรากฏ แสดงให้เห็นถึงหมู่ Primary amine (R-NH₂) ส่วนฟิล์มไซโลกลูแคนมีพีคที่ Wavenumbers 1,632.37 cm⁻¹ ถึง 1,635.06 cm⁻¹ ปรากฏ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงหมู่ Primary amide (R-CO-NH₂) และฟิล์มคีแตมมีพีคในช่วง Wavenumbers 1,635.37 cm⁻¹ ถึง 1,637.48 cm⁻¹ ปรากฏ แสดงให้เห็นถึงหมู่ aliphatic secondary amides (R-CO-NH-R') ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Simi (2009) และสอดคล้องกับผลการผลการวิเคราะห์ DSC และ XRD ที่กล่าวมาข้างต้น จากกราฟ FTIR (ภาพที่ 4.9, ภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.11 ตามลำดับ) พบว่า ปริมาณของกลีเซอรอลที่เพิ่มมากขึ้นไม่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูแคนและไคโตซานในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มคีแตม



ภาพที่ 4.9 FTIR spectra ของ ก) โคลโดซาน ข) ไซโลกลูแคน

ค) อัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อโคลโดซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 และ ฉ) 4:1 ตามลำดับ

โดยเติมกลีเซอรอล 25 % (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)



ภาพที่ 4.10 FTIR spectra ของ ก) โคลิซาน ข) ไชโลกุเคน

ค) อัตราส่วนของไชโลกุเคนต่อโคลิซานที่ 1:1, ง) 2:1, จ) 3:1 และ ฉ) 4:1 ตามลำดับ

โดยเติมกลีเซอรอล 30 % (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)

4) Scanning electron microscope (SEM)

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ระดับกำลังขยาย 1000 เท่า ของ (ตารางที่ 4.4) แสดงให้เห็นลักษณะพื้นผิวของฟิล์มที่อัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อไคโตซานที่แตกต่างกัน กล่าวคือ พื้นผิวของฟิล์มที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อไคโตซานเป็น 0:1 จะมีลักษณะเรียบ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ฟิล์มดังกล่าวไม่พบการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูแคนและไคโตซาน แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อไคโตซานเป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 ตามลำดับ พื้นผิวของฟิล์มก็จะมีลักษณะขรุขระเพิ่มมากขึ้น ซึ่งลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระนี้สามารถบ่งบอกถึงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูแคนและไคโตซาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ DSC, XRD และ FTIR ที่กล่าวมาข้างต้นและสอดคล้องกับงานวิจัยของ Simi (2009)

ตารางที่ 4.4 ลักษณะพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ระดับกำลังขยาย 1000 เท่า ของฟิล์มที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อไคโตซานต่างๆ โดยเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% ตามลำดับ (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (ระดับกำลังขยาย 1000x)			
อัตราส่วนของ ไซโลกลูแคนต่อไคโตซาน	กลีเซอรอล (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)		
	25	30	35
0:1			
1:1			
2:1			
3:1			
4:1			

4.3 ผลการศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มคิแตมที่ผลิตได้

1) ความหนา (Thickness)

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า ฟิล์มที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อโคโคซานเป็น 0:1 มีความหนาน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อโคโคซานเป็น 1:1, 2:1 และ 3:1 ตามลำดับ ไม่มีผลทำให้ฟิล์มคิแตมที่ได้มีความหนาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อโคโคซานเป็น 4:1 มีผลทำให้ฟิล์มคิแตมที่ได้มีความหนามากกว่าฟิล์มคิแตมที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อโคโคซานอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ การเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลไม่มีผลทำให้ฟิล์มคิแตมที่ผลิตได้มีความหนาความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.5 ค่าความหนาของฟิล์มที่อัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อโคโคซานต่างๆ

อัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อโคโคซาน	กลีเซอรอล (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)	ความหนา (มม.)
0:1	25	0.06 ± 0.01^d
	30	0.06 ± 0.01^d
	35	0.06 ± 0.01^d
1:1	25	0.08 ± 0.01^c
	30	0.08 ± 0.01^c
	35	0.08 ± 0.01^c
2:1	25	0.09 ± 0.01^{bc}
	30	0.09 ± 0.01^{bc}
	35	0.09 ± 0.01^{bc}
3:1	25	0.10 ± 0.01^b
	30	0.11 ± 0.01^b
	35	0.10 ± 0.01^b
4:1	25	0.15 ± 0.01^a
	30	0.16 ± 0.01^a
	35	0.16 ± 0.01^a

หมายเหตุ: ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

2) ความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มคีแตาม (Tensile strength and Elongation)

จากตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัว และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อไคโตซานและปริมาณกลีเซอรอลที่มีผลต่อค่าความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มคีแตามที่มีความหนาอยู่ระหว่าง 0.06–0.16 มม. โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) พบว่า อัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อไคโตซานและปริมาณกลีเซอรอลผลที่แตกต่างกันมีผลทำให้ฟิล์มคีแตามที่ผลิตได้มีความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ซึ่งปริมาณของไซโลกลูแคนเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ฟิล์มคีแตามมีความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัวเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) และเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลเป็น 25%, 30% และ 35% ตามลำดับ ไม่มีผลทำให้ความสามารถในการต้านแรงดึงขาดของฟิล์มคีแตามเพิ่มมากขึ้น ($p > 0.05$) แต่มีผลทำให้ความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มคีแตามเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากตารางที่ 4.6 พบว่าฟิล์มที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อไคโตซานเป็น 4:1 โดยเติมกลีเซอรอล 35% (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด) มีความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มมากที่สุด เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างไซโลกลูแคนต่อไคโตซานและปริมาณของกลีเซอรอลที่เหมาะสมจะทำให้เกิดเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูแคนและไคโตซานที่เหมาะสม ส่งผลให้ฟิล์มดังกล่าวเกิดจากพอร์มเจลที่มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นมากที่สุด

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มคีแตามที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อไคโตซานต่างๆ โดยเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% ตามลำดับ (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)

อัตราส่วนของ ไซโลกลูแคนต่อ ไคโตซาน	% กลีเซอรอล (น้ำหนัก/น้ำหนักของ ของแข็งทั้งหมด)	ความสามารถในการ ต้านแรงดึงขาด (กรัม×แรง)	ความสามารถใน การยืดตัว (มม.)
0:1	25	943.38±89.40 ⁱ	0.36±0.03 ⁱ
	30	1,082.43±105.29 ^k	0.42±0.31 ⁱ
	35	1,303.88±85.07 ^j	0.45±0.05 ^j

มีต่อ

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มกึ่งเคลมที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อไคโตซานต่างๆ โดยเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% ตามลำดับ (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด) (ต่อ)

อัตราส่วนของ ไซโลกลูแคนต่อ ไคโตซาน	% กลีเซอรอล (น้ำหนัก/น้ำหนักของ ของแข็งทั้งหมด)	ความสามารถในการ ต้านแรงดึงขาด (กรัม×แรง)	ความสามารถใน การยึดตัว (มม.)
1:1	25	1,406.56±88.39 ^{hi}	0.56±0.99 ^{hi}
	30	1,500.16±99.91 ^h	0.69±0.03 ^{hi}
	35	1,729.84±148.72 ^g	0.92±0.12 ^{gh}
2:1	25	2,662.44±190.96 ^f	1.18±0.03 ^g
	30	2,821.14±112.48 ^c	1.19±0.20 ^f
	35	2,848.84±108.02 ^c	1.56±0.34 ^f
3:1	25	3,300.54±145.27 ^d	2.48±0.16 ^c
	30	3,447.24±94.97 ^{cd}	3.50±0.40 ^d
	35	3,649.90±148.61 ^{ab}	4.98±0.91 ^b
4:1	25	3,536.28±85.24 ^{bc}	3.24±0.09 ^d
	30	3,729.90±100.67 ^a	4.59±0.41 ^c
	35	3,757.26±117.23 ^a	5.62±0.16 ^a

หมายเหตุ: 1. ^{a-l} ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

2. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 10 ซ้ำ

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อไคโตซานและปริมาณ-กลีเซอรอลที่มีผลต่อค่าความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มกึ่งเคลม

ปัจจัย	ความสามารถในการต้านแรงดึงขาด	ความสามารถในการยึดตัว
อัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อ ไคโตซาน (X_1)	0.962**	0.887**

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อโคโคซานและปริมาณกลีเซอรอลที่มีผลต่อค่าความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มคิแตน (ต่อ)

ปัจจัย	ความสามารถในการต้านแรงดึงขาด	ความสามารถในการยึดตัว
% กลีเซอรอล (X_2)	0.114 ^{ns}	0.281*
อัตราส่วนระหว่างอัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อโคโคซานกับ % กลีเซอรอล (X_1X_2)	0.966**	0.924**

หมายเหตุ: 1. ** ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p \leq 0.01$)

2. * ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

3) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapour transmission rate: WVTR)

จากตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อโคโคซานต่างๆ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อโคโคซานและปริมาณกลีเซอรอลที่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มคิแตนตามลำดับ พบว่า ปริมาณของไซโลกลูแคนที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มคิแตนมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการเกิดสารประเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูแคนและโคโคซานที่เกิดขึ้นไปขวางกั้นการซึมผ่านของไอน้ำทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มคิแตนมีแนวโน้มลดลง ซึ่งฟิล์มที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อโคโคซานเป็น 0:1 มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำมากที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมา คือ ฟิล์มคิแตนที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อโคโคซานเป็น 1:1 และ 4:1 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) และฟิล์มคิแตนที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อโคโคซานเป็น 2:1 และ 3:1 ตามลำดับ มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำน้อยที่สุด ซึ่งฟิล์มคิแตนที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อโคโคซานเป็น 2:1 และ 3:1 ตามลำดับ มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลไม่มีผลทำให้ฟิล์มคิแตนที่ผลิตได้มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มกึ่งแอมที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อไคโตซานต่างๆ โดยเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% ตามลำดับ (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)

อัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อไคโตซาน	กลีเซอรอล (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (ก./ตร.ม.)
0:1	25	2,503.00±41.01 ^a
	30	2,530.50±50.20 ^a
	35	2,494.50±41.72 ^a
1:1	25	2,304.50±26.16 ^b
	30	2,278.50±60.10 ^b
	35	2,316.50±47.38 ^b
2:1	25	570.00±41.01 ^d
	30	546.50±21.92 ^d
	35	547.00±32.53 ^d
3:1	25	628.50±9.20 ^d
	30	620.50±36.06 ^d
	35	620.00±9.90 ^d
4:1	25	1,230.00±32.53 ^c
	30	1,302.00±4.24 ^c
	35	1,274.00±42.43 ^c

หมายเหตุ: ^{a-d} ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อไคโตซานและปริมาณกลีเซอรอลที่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มกึ่งแอม

ปัจจัย	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ
อัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อไคโตซาน (X_1)	0.717**
% กลีเซอรอล (X_2)	0.002 ^{ns}
อิทธิพลระหว่างอัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อไคโตซานกับ % กลีเซอรอล (X_1X_2)	-0.703**

หมายเหตุ: ** ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p \leq 0.01$)

5) ความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial activity)

จากตารางที่ 4.10 ผลการตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ปนเปื้อนในฟิล์มคีแตมที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อโคโคซานต่างๆ พบว่าฟิล์มที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อโคโคซานเป็น 0:1 โดยเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% ตามลำดับ พบการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์จำนวน 4.0×10^4 CFU/g, 3.7×10^4 CFU/g และ 2.5×10^4 ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าฟิล์มดังกล่าวไม่มีความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลจะทำให้ฟิล์มดังกล่าวพบการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์น้อยลง เนื่องจากการเติมกลีเซอรอลจะช่วยลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity: A_w) ของฟิล์มให้ต่ำลง Muguruma *et al.* (1989) ทำให้มีสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนฟิล์มฟิล์มคีแตมที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อโคโคซานเป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 โดยเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% ตามลำดับ (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด) พบการเจริญของจุลินทรีย์น้อยกว่า 30 CFU/g ซึ่งชี้ให้เห็นว่าฟิล์มดังกล่าวมีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ที่ดี เนื่องจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างหมู่แอลดีไฮด์ของไซโลกลูแคนและหมู่อะมิโนของโคโคซานส่งผลให้ฟิล์มดังกล่าวมีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ที่ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Semi (2009) ที่กล่าวว่า การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูแคนและโคโคซานทำให้ฟิล์มที่ได้มีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ที่ดี และสอดคล้องกับงานวิจัยของวุฒิชัย (2558) ที่นำฟิล์มคีแตมมาเคลือบมะม่วงน้ำดอกไม้และกล้วยหอมทอง โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเย็น 15°C เป็นเวลา 7 วัน เปรียบเทียบกับวิธีการเก็บแบบไม่ใช้สารเคลือบ พบว่าฟิล์มคีแตมสามารถชะลอการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้และกล้วยหอมทองและป้องกันการเน่าของข้าวผลไม้ได้ดีกว่าวิธีการเก็บแบบไม่ใช้สารเคลือบ

ตารางที่ 4.10 ผลการตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ปนเปื้อนในฟิล์มคีแตมที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อโคโคซานต่างๆ โดยเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% ตามลำดับ (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)

อัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อโคโคซาน	กลีเซอรอล (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)	ผลการตรวจนับ CFU/g (หรือ CFU/ml)
0:1	25	4.0×10^4
	30	3.7×10^4
	35	2.5×10^4
1:1	25	$<30 \times 10^1$
	30	$<30 \times 10^1$
	35	$<30 \times 10^1$

มีต่อ

ตารางที่ 4.10 ผลการตรวจนับจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ปนเปื้อนในฟิล์มกึ่งแฉกที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อไคโตซานต่างๆ โดยเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% ตามลำดับ (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด) (ต่อ)

อัตราส่วนของไซโลกลูแคนต่อไคโตซาน	กลีเซอรอล (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด)	ผลการตรวจนับ CFU/g (หรือ CFU/ml)
2:1	25	$<30 \times 10^1$
	30	$<30 \times 10^1$
	35	$<30 \times 10^1$
3:1	25	$<30 \times 10^1$
	30	$<30 \times 10^1$
	35	$<30 \times 10^1$
4:1	25	$<30 \times 10^1$
	30	$<30 \times 10^1$
	35	$<30 \times 10^1$

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาอิทธิพลของไซโลกลูแคนและกลีเซอรอลที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูแคนและไคโตซานของฟิล์มคิแคม โดยใช้ไซโลกลูแคน 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 กรัม ตามลำดับ ต่อไคโตซาน 0.25 กรัม และใช้กลีเซอรอล 25, 30 และ 35% (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด) เป็นพลาสติกไซเซอร์ จากศึกษาการเกิดไฮโดรไลซ์ด้วยกรด (Acid Hydrolysis) ของไซโลกลูแคน และศึกษาการเกิดหมู่แอลดีไฮด์ของไซโลกลูแคน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณไซโลกลูแคนและเวลาที่ใช้ในการผสมไซโลกลูแคนกับกรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 4% จะส่งผลให้คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของไซโลกลูแคนเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดเกิดเป็นน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มมากขึ้น ($p \leq 0.05$) ซึ่งจากการทดสอบด้วยวิธีเบนดิซซ์ จะพบการเกิดหมู่แอลดีไฮด์ (-CHO) ของไซโลกลูแคนปรากฏขึ้น จากผลการวิเคราะห์ที่กล่าวมาข้างต้นสามารถยืนยันได้ว่า กรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 4% สามารถไฮโดรไลซ์ไซโลกลูแคนได้จริง

จากการศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซโลกลูแคนและไคโตซานในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มคิแคม โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของไซโลกลูแคนจะทำให้ฟิล์มคิแคมที่ได้มีสัดส่วนความเป็นผลึกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC พบว่า ปริมาณของไซโลกลูแคนที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้เอนทัลปีที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึกของคิแคมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR พบว่า ฟิล์มคิแคมมีพีคในช่วง Wavenumbers 1635.37 cm^{-1} ถึง 1636.84 cm^{-1} ปรากฏ แสดงให้เห็นถึงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างหมู่แอลดีไฮด์ (-CHO) ของไซโลกลูแคนและหมู่อะมิโน (-NH₂) ของไคโตซานเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ที่เรียกว่า คิแคม (Chitam) ซึ่งเมื่อดูภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะพบว่า ปริมาณของไซโลกลูแคนที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้พื้นผิวของฟิล์มคิแคมจะมีลักษณะขรุขระเพิ่มมากขึ้น จากผลการวิเคราะห์ XRD, DSC, FTIR และ SEM ที่กล่าวข้างต้นสามารถยืนยันได้ว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของคิแคมขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตฟิล์มคิแคมจริงๆ ซึ่งปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มมากขึ้นไม่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของคิแคม

การศึกษาสมบัติบางประการของฟิล์มคิแคมที่ผลิตได้ ด้านความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มคิแคม (Tensile strength and elongation at break) พบว่า ปริมาณของไซโลกลูแคนและกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ฟิล์มคิแคมมีความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและสามารถในการยืดตัวเพิ่มมากขึ้น ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ปริมาณของไซโลกลูแคนที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มคิแคมมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่การ

เพิ่มปริมาณกลีเซอรอลไม่มีผลทำให้ฟิล์มที่ผลิตได้มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) และเมื่อนำฟิล์มที่เตรียมมาวิเคราะห์หาปริมาณของจุลินทรีย์ทั้งหมด พบว่า ฟิล์มที่เตรียมที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อโคโคซานเป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 โดยเติมกลีเซอรอล 25%, 30% และ 35% ตามลำดับ (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด) พบการเจริญของจุลินทรีย์น้อยกว่า 30 CFU/g ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ฟิล์มดังกล่าวมีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ที่ดี

จากคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นจึงสรุปได้ว่า ฟิล์มที่อัตราส่วนไซโลกลูแคนต่อโคโคซานเป็น 4:1 โดยเติมกลีเซอรอล 35% (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด) เป็นฟิล์มที่มีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่นได้ดี นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ที่ดี จึงเหมาะสมที่สุดที่จะนำฟิล์มดังกล่าวมาพัฒนาต่อไป เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาคุณสมบัติฟิล์มที่เตรียมในด้านฤทธิ์ในการต้านเชื้อรา
2. ควรศึกษาสารประกอบอื่นๆ ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ร่วมกับฟิล์มที่เตรียม เพื่อเสริมคุณสมบัติของฟิล์มให้มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ดี อาทิเช่น การใช้นาโนอิมัลชันซินนามาลดีไฮด์ ซึ่ง Huanle *et al.* (2559) ได้ทำการศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* และเชื้อรา *Candida Albicans* HG01 ของฟิล์มโคโคซานร่วมกับการใช้ นาโนอิมัลชันซินนามาลดีไฮด์ พบว่านาโนอิมัลชันซินนามาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 1.5 และ 2.0 % มีผลในการยับยั้ง *Escherichai coli* และ *Staphylococcus aureus* และมีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของนาโนอิมัลชันซินนามาลดีไฮด์
3. ควรศึกษาการผลิตฟิล์มที่เตรียมนาโน เพื่อให้สามารถนำฟิล์มมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

บรรณานุกรม

- ชูศักดิ์ สัจพงษ์. 2550. มะขาม พืชสร้างอนาคต. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มติชน.
- ปิยะนุช สุวรรณรัตน์, แสงระวี สุทธิปริญญาพันธ์ และผดุงขวัญ จิตโรภาส. 2557. ผลของสารก่อฟิล์มร่วมและสารเพิ่มความยืดหยุ่นต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของแผ่นฟิล์มเนื้อเมล็ดมะขาม. หน้า 1522–1532. ในโครงการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปรารักษ์ทอง กวานห้อง และเบญจมาศ รัตนชินกร. 2557. ผลของไคโตซานความเข้มข้นต่ำต่อคุณภาพการเก็บรักษาชมพูพันธุ์ทองสามสี. แก่นเกษตร 42 ฉบับพิเศษ 3.
- พรพฐ อัดแอ, พรรณวดี จุลภักดิ์, อมรวัชร ชันเล็ก และชันวา มุสาหม. 2559. ฟิล์มคีแตมและสมบัติบางประการของฟิล์มคีแตม. ระดับปริญญาตรี. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- มณฑา จำเริญรักษ์. 2544. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของไคโตซานจากกระดองปลาหมึกและเปลือกกุ้งต่อการห้ามเลือด การสมานแผล และความปลอดภัยในการนำไปใช้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วิภา สุโรจนะเมธากุล. 2546. คุณสมบัติและประโยชน์ ของกลีเซอรอล. วารสารอาหาร. 33:87-89.
- สุททวัฒน์ เบญจกุล. 2533. แนวทางการใช้ประโยชน์จากเปลือกกุ้ง: ไคตินและไคโตซาน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาบัณฑิต.
- สิริรัตน์ จงฤทธิพร. 2549. การใช้แผ่นฟิล์มและการฉีดพ่นไคโตซานและไคโตซานผสมสารสกัดกระเทียมในการถนอมผลิตภัณฑ์ประมง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง.
- สินีนานู สุขะวัลลิ. 2557. สมบัติของเจลโลสจากผงเมล็ดมะขามต่อพฤติกรรมเกิดเจล. ระดับปริญญาโท. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สิริการ หนูสิงห์ และวรางคณา สมพงษ์. 2558. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและการทำแห้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของกัมเมล็ดมะขาม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 23: 44–58.
- Ana, V., Celine, M., Isabelle, C. and Bernard, C. 2013. Chitin Nanocrystal-Xyloglucan multilayer thin films. *Biomacromolecules*. 14: 188–194.
- Anonymous. (1997). Edible films solve problems. *Food Technology* 51:60.
- Aranaz, I., Mengibar, M., Harris, R., Panos, I., Miralles, B., Acosta, N., Gemma, G. and Heras, A. 2009. Functional Characterization of Chitin and Chitosan. *Current Chemical Biology*. 3(2): 203–230.

- ASTM International. 2018. ASTM D882–18. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. West Conshohocken. PA.
- Ayoub, M. and Abdullah, A.Z. 2012. Critical review on the current scenario and significance of crude glycerol resulting from biodiesel industry towards more sustainable renewable energy industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 2671–2686.
- Bhuiyan, M.R., Shaid, A., Bashar, M.M., Haque, P. and Hannan, M.A. 2013. A Novel Approach of Dyeing Jute Fiber with Reactive Dye after Treating with Chitosan. *Organic Polymer Materials*. 3(4): 87–91.
- Bhuiyan, M.R., Shaid, A. and Khan. M.A. 2014. Cationization of Cotton Fiber by Chitosan and Its Dyeing with Reactive Dye without Salt. *Chemical and Materials Engineering*. 2(4): 96–100.
- Bough, W.A., Satter, W.L., Wu, A.C.M. and Perkins, B.E. 1978. Influence of chitosan products I: Chemical compositions, viscosity and molecular weight distribution of chitosan products. *Biotechnol Bioeng*. 20: 1931–1943.
- Chandumpai, A., Singpibulporn, N., Faroongsarng, D. and Sornprasit, P. 2004. Preparation and physico-chemical characterization of chitin and chitosan from the pens of the squid species *Loligo lessoniana* and *Loligo formosana*. *J. Carbohydrate Polymers*. 58: 467–474.
- Chaplin, M.F. (1986). Monosaccharides. In Chaplin, M.F. and Kennedy, J.F. (Eds). *Carbohydrate analysis*, p.3. Oxford; IRL Press.
- Chaisakdanukull, C. and Sriroth, K. 2005. Characterization of oligosaccharides from tamarind seed kernel powder. *Proceeding of the 2995 IFT Annual Meeting*, New Orleans, USA.
- Croisier, F. and Jerome, C. 2013. Chitosan-based biomaterials for tissue engineering. *European Polymer Journal*. 49(4): 780–792.
- Dutta, P.K., Dutta, J. and Tripathi, V.S. 2004. Chitin and Chitosan: Chemistry, properties and applications. *Scientific & Industrial Research*. 63(1): 20–31.
- El-Sidding, K., Gunasena, H.P.M., Presad, B.A., Pushpakunara, D.K.N.G., Ramana, K.V.R., Vijayanand, P. and Williams, J.T. 2006. Tamarind. *Tamarindus indica*. Southampton Centre for Underutilised Crops. Southampton. UK.
- Ghasemloua, M., Khodaiyana, F. and Oromiehieb, A. 2011. Physical, mechanical, barrier, and thermal properties of polyol-plasticized biodegradable edible film made from kefiran. *Carbohydrate polymers*. 84: 47–483.
- Gibbon, D. and Pain, A. 1985. *Crop of drier regions of the tropics*. London and New York.

- Gladysko, Y. 2011. Extraction of hemicelluloses by acid catalyzed hydrolysis. Bachelor's degree. Technology. Saimaa university of applied sciences.
- Harris, P.J. and Bronwen, G.S. 2006. Plant cell walls and cell-wall polysaccharides: structures, properties and uses in food products. *International Journal of food science and technology*. 41(2): 129–143.
- Huanle, C., Xiaorong, H., Enmin, C., Shan, W., David, J.M., Shilin, L., Bin, L. and Yan, L. 2016. Preparation, characterization, and properties of chitosan films with cinnamaldehyde nanoemulsions. *Food Hydrocolloids*. 61: 662-671.
- Hickey M. and King, C. 2000. *The Cambridge Illustrated Glossary of Botanical Terms*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hitendra S.M. and Sachin R.D. 2015. Development and evaluation of gel-forming ocular films based on xyloglucan. *Carbohydrate Polymers*. 122: 243–247.
- International Organization for Standardization. 1993. ISO 4593:1993 Plastics Film and sheeting determination of thickness by mechanical scanning. BSI.
- Janerman, E. 1991. *Glycerine: A key cosmetic ingredient*. New York. Merceel Dekker, Inc.
- Kaur, P., Sandhu, K.S. and Kaur, J. 2011. Pasting properties of Tamarind (*Tamarindus indica*) kernel powder in the presence of Xanthan, Carboxymethyl cellulose and Locust bean gum in comparison to rice and potato flour. *Food Science and Technology*. 69: 251-255.
- Kumar, M.N.R. 2000. A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and Functional Polymers*. 46(1): 1–27.
- Kumar, C.S. and Bhattacharya, S. 2008. Tamarind seed: Properties, processing and utilization. *Food Science and Nutrition*. 48: 1-20.
- Maramaldi, Giada. 2011. A highly moisturizing active from tamarind seed. *Personal Care 2011*.
- Marathe, R.M., Annapure, U.S., Singhal, R.S. Singhal, R.S. and Kulkarni, P.R. 2002. Gelling behavior of polyose from tamarind kernel polysaccharide. *Food hydrocolloids*. 16: 423-426.
- Matta, M.D., Sarmentol, S.B.S., Oliveira, L.M. and Zocchi, S.S. 2011. Mechanical properties of pea starch films associated with xanthan gum and glycerol. *Starch–Starke*. 63: 274–282.
- Mirhosseini, H. and Amid, B.T. 2012. A review study on chemical composition and molecular structure of newly plant gum exudates and seed gums. *Food Research International*. 46: 387-398.

- Mohammad, R. K., Joseoh, A. and Gerard, C. 2013. Fragmentation of chitam by acids. *The scientific world journal*. 11: 1–11.
- Muguruma, M., Nishimura, T., Umetsu, R., Goto, I. and Yamaguchi M. 1987. Humectants improve myosin extractability and water activity of raw. Cured intermediate moisture meat. *Science*, 20: 179–194.
- Nisbet, D.R., Crompton, K.E., Hamilton, S.D., Shirakawa, S., Pranker, R.J., Finkelstein, D.I., Horne, M.K. and Forsythe, J.S. 2006. Morphology and gelation of thermosensitive xyloglucan hydrogel. *Biophysical Chemistry*. 121 (2006): 14–20.
- Nishinari, K., Yamatoya, K. and Shirakawa, M. 2000. Xyloglucan. In G.O. Phillips & P.A. Williams (Eds.), *Handbook of Hydrocolloids*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, UK. pp. 47–267.
- Nishinari, K., Takemasa, M., Zhang, H., Takahashi, R. 2007. Storage plant polysaccharides: Xyloglucan, galactomannans, glucomannans. In Kamerling, J.P. et al. (eds), *Comprehensive Glycoscience*.
- Nishinari, K., Takemasa, M., Yamatoya, K. and Shirakawa, M. 2009. Xyloglucan. In G.O. Phillips & P.A. Williams (Eds.), *Handbook of Hydrocolloids*, Cambridge: Woodhead publishing limited, UK. pp. 247-267.
- Patil, B.S., Mastiholimath, V. and Kulkarni. A.R. 2011. Novel wound dressing material derived from crosslinked tamarind seed polysaccharide: in vitro characterization and wound healing activity. *Trends in biomaterials and artificial organs*. 25(4): 149–153.
- Paul, S., Jayan, A., Sasikumar, C.S., and Cherian, S.M. 2014. Extraction and purification of chitosan from chitin isolated from sea prawn. *Asian J Pharm Clin Res*. 7:201-204.
- Peirmaria, J., Pinotti, A., Garcia, M.A. and Abraham, A.G. 2009. Film based on kefir, an exopolysaccharide obtained from kefir grain: development and characterization. *Food Hydrocolloid*. 23: 684–690.
- Perry, R.H., Green, D.W., Maloney, J.O.H. 1997. *Perry's chemical engineers' handbook*, 7th ed. McGraw-Hill.
- Puja, G., Vineet, K., and Pradeep, S. 2008. Cynoethylation of tamarind kernel powder. *Starch/Starke*. 164: 699–703.
- Rashmirekha, S., Soumendra, S. and Padma L.N. 2010. Release behavior of anticancer drug paclitaxel from tamarind seed polysaccharide galactoxyloglucan. *European Journal of Scientific Research*. 47: 197–206.

- Ren, Y., Picout, D.R., Ellis, P.R., Ross-Murphy, S.B. and Reid, J.S.G. 2005 A novel xyloglucan from seed xyloglucan on rheological properties and thermal stability of tapioca starch. *Journal of Food Engineering*. 77: 41–50.
- Rutherford, F and Austin, P.R. 1978. In *Proceedings of First International Conference on Chitin and Chitosan*, R.A.A. Muzzarelli, E.R. Pariser (eds.). Cambridge, MA: MIT Press, pp. 182–192.
- Sahoo, S., Sahoo, R. and Nayak, P.L. 2001. Tamarind seed polysaccharide: A versatile biopolymer for mucoadhesive application. *Journal of pharmaceutical and biomedical science*. 8(8). 1–12.
- Shirakawa, M., Yamotoya, K. and Nishinari, K. 1998. Tailoring of xyloglucan properties using an enzyme. *Food Hydrocolloids*. 12(1998): 25–28.
- Simi C.K. 2009. Transparent xyloglucan-chitosan complex hydrogels for different applications. *Food Hydrocolloids*. 2010: 72–80.
- Simi, C.K., and Abraham, T.E. 2012. Transparent xyloglucan/chitosan gel and a process for the preparation thereof. United States Patent No. US 2012/0009132 A1, Jan 2012.
- Tan, H., Chu, C.R., Payne, K.A. and Marra K.G. 2009. Injectable in situ forming biodegradable chitosan–hyaluronic acid based hydrogels for cartilage tissue engineering. *Biomaterials*. 30(13): 2499–2506.
- Tana, Y.M., Limb, S.H., Tayb, B.Y., Leec, M.W. and Thiana, E.S. 2014. Functional chitosan-based grapefruit seed extract composite films for applications in food packaging technology. *Materials Research Bulletin*. 2015(69): 142-146.
- Tong, Q., Xiao, Q. and Lim, L.T. 2008. Preparation and properties of pullulan–alginate–carboxymethylcellulose blend films. *Food Research International*. 41: 1007-1014.
- Tokura, S., Ueno K., Miyazki, S. and Nishi, N. 1997. Molecular weight dependent antimicrobial activity by chitosan. *Macromolecular Symposia* 120: 1–9.
- Windholz, M.S., Budvari S., Stroumts L.Y. and Fertig, M.N. 1976. *The Merck Index*. Ninth Edition, Merck & Co., Inc., Rahway, New York.
- Yamanaka, S., Yuguchi, Y., Urakawa, H., Kajiwarra, K., Shirakawa, M. and Yamatoya, K. 2000. Galation of tamarind seed polysaccharide xyloglucan in the presence of ethanol. *Food Hydrocolloids*. 14(2000): 125–128.
- Yeul, V.S. and Rayalu, S.S. 2013. Chitin and Chitosan: Structure Properties and Applications in Biomedical Engineering. *Polymers and the Environment*. 21(2): 606–614.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การผลิตฟิล์มคีแตม

ก.1 การเตรียมสารละลายไซโลกลูแคน



ภาพภาคผนวกที่ ก. 1 ละลายไซโลกลูแคนกับน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิประมาณ 85 °C ปริมาตร 10 มล.



ภาพภาคผนวกที่ ก. 2 ใส่กรดอะซิติก 4% (ปริมาตร/ปริมาตร) 25 มล. แล้วนำไปกวนผสมโดยใช้เครื่อง Digital Dual-Range Mixer ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที

ก. 2 การเตรียมสารละลายไคโตซาน



ภาพภาคผนวกที่ ก. 3 ละลายไคโตซานด้วยกรดอะซิติก 4% (ปริมาตร/ปริมาตร) 25 มล. แล้วนำไปกวนผสมโดยใช้เครื่อง Bamix Hand Blender ที่ระดับความเร็วสูงสุด ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 นาที



ภาพภาคผนวกที่ ก. 4 กวนสารละลายไคโตซานด้วยเครื่อง Digital Dual-Range Mixer ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที

ก. 3 การขึ้นรูปฟิล์มคิแตม



ภาพภาคผนวกที่ ก. 5 ผสมละลายไซโลกลูแคนและโคโตซานเข้าด้วยกันส่วน แล้วกวนผสมต่อด้วย เครื่อง Digital Dual-Range Mixer ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที



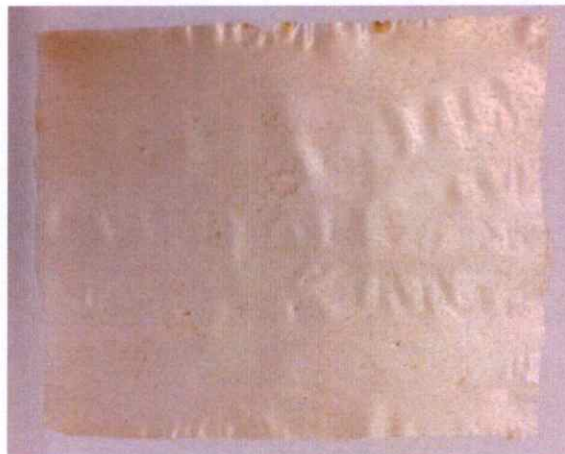
ภาพภาคผนวกที่ ก. 6 เติมกลีเซอรอล 25, 30 และ 30% (น้ำหนัก/น้ำหนักของของแข็งทั้งหมด) ตามลำดับ แล้วกวนต่อด้วยเครื่อง Digital Dual-Range Mixer ที่ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที



ภาพภาคผนวกที่ ก. 7 เทของผสมลงบนแผ่นอะคริลิกขนาด 20×24 ซม.



ภาพภาคผนวกที่ ก. 8 นำเข้าเครื่องอบเจล ที่อุณหภูมิ 37.5 °ซ เป็นเวลา 6 ชม.



ภาพภาคผนวกที่ ก. 9 ลอกแผ่นฟิล์มออกจากแผ่นอะคริลิก

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์ทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์

ข.1 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสถานะที่เป็นกรด (ดัดแปลงจาก Chaplin, 1986)

1. การเตรียมสาร

1.1 การเตรียมสาร Dinitrosalicylic acid (DNS)

ละลาย DNS 5 กรัมใน 2 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 100 มล. ที่อุณหภูมิ 80-90°C แล้วเติมสารละลายโซเดียมโปตัสเซียมทาร์เตรต (จำนวน 150 กรัม ซึ่งละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 250 มล.) ลงไปในขณะที่ยังร้อนอยู่ คนให้เข้ากัน จากนั้นเติมน้ำให้ครบ 500 มล.

1.2 การเตรียมสารละลายกลูโคสมาตรฐาน

ชั่งสารกลูโคสมาตรฐาน 0.1 กรัม ปรับปริมาตรกับน้ำกลั่นให้ได้ 100 มล. ในขวดปรับปริมาตร ซึ่งจะใช้เป็นสารละลายมาตรฐานกลูโคสที่มีปริมาณกลูโคส 1000 ไมโครกรัม/มล.

2. การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ปิเปตสารละลายเจลาติน 1 มล. ลงในหลอดทดลอง แล้วเติม 3,5 Dinitrosalicylic acid (DNS) 1 มล. ลงในหลอดทดลอง ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารละลาย ต้มในน้ำเดือด ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 นาที แล้วแช่สารละลายในอ่างน้ำเย็น จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 570 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดยูวีวิชันเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

นำค่าการดูดกลืนแสงมาคำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (\%)} = \frac{K \times B \times 100 \times \text{dilution}}{1000 \times A}$$

โดยที่	K	=	slope × I
	Slope	=	ค่าที่ได้จากกราฟกลูโคสมาตรฐาน
	I	=	ค่าการดูดกลืนแสง
	B	=	ปริมาณของเหลวทั้งหมดที่ใช้
	A	=	น้ำหนักของตัวอย่าง
	Dilution	=	ระดับการเจือจาง

ข.2 การทดสอบเบเนดิกต์ (Benedict's test)

ปีเปตสารละลายไซโลกลูแคน 1 มล. ลงในหลอดทดลอง แล้วเติม Benedict's reagent (CuSO_4)₂ 1 มล. ลงในหลอดทดลอง จากนั้นต้มในน้ำเดือด ที่อุณหภูมิ 100°C 3–5 นาที ซึ่งในภาวะที่เป็นด่างน้ำตาล จะใช้หมู่แอลดีไฮด์ในการรีดิวซ์คิวพริกไอออน (Cu^{2+}) ในสารละลายเบเนดิกต์ เกิดเป็นตะกอนสีแดงอิฐ ของคิวพรัสออกไซด์ (Cu_2O) ซึ่งในการทดลองจะทำการตรวจสอบการเกิดหมู่แอลดีไฮด์ของไซโลกลูแคนที่ถูกรอกออกซิไดซ์จากหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของไซโลกลูแคน

ข.3 X-ray Diffractometer (XRD)

วิเคราะห์การจัดเรียงตัวโครงสร้างระดับจุลภาคของฟิล์มคิแตม ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เรียงตัวเป็นระเบียบ เรียกว่า ส่วนผลึก (Crystalline) และส่วนที่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ เรียกว่า ออสัญฐาน (Amorphous) โดยใช้เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) ยี่ห้อ Bruker AXS รุ่น D8 Advance ประเทศเยอรมัน

Scan method ที่ใช้

- | | | |
|--------------|------|------|
| 1. Start | 5 | deg |
| 2. Stop | 40 | deg |
| 3. Step size | 0.04 | deg |
| 4. Time/Step | 1 | นาที |



ภาพภาคผนวกที่ ข.3 เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)

ยี่ห้อ Bruker AXS รุ่น D8 Advance ประเทศเยอรมัน

ข.4 Differential scanning calorimeter (DSC)

วิเคราะห์ความเป็นผลึก (crystallinity) และวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลวของผลึก (melting point) ของฟิล์มคีแตมที่ผลิตได้ ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) ยี่ห้อ Netzsch รุ่น DSC 204 F1 ประเทศเยอรมัน

สภาวะที่ใช้วิเคราะห์

1. อุณหภูมิที่ใช้ในวิเคราะห์ คือ ตั้งแต่ 30 °ซ ถึง 300 °ซ
2. อัตราการให้ความร้อน 10 °ซ/นาที
3. อัตราการเย็นตัว 10 °ซ/นาที
4. สภาวะแก๊สที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ แก๊สไนโตรเจน
5. ความละเอียดในการวิเคราะห์แบบ First run



ภาพภาคผนวกที่ ข.2 เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)
ยี่ห้อ Netzsch รุ่น DSC 204 F1 ประเทศเยอรมัน

ข.5 FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

วิเคราะห์หาชนิดหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มคีแตม ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ยี่ห้อ Thermo scientific รุ่น Nicolet 6700 ประเทศเยอรมัน โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Attenuated total reflectance – Fourier transform infrared (ATR-FTIR)



ภาพภาคผนวกที่ ข.1 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

ยี่ห้อ Thermo scientific รุ่น Nicolet 6700 ประเทศเยอรมัน

ข.6 การวิเคราะห์หาค่าความหนา

วัดความหนาของฟิล์มคิแตมที่ผลิตได้ด้วยไมโครมิเตอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น 103-137 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ISO 4593:1993 (ISO standard, 1993)

วิธีการวิเคราะห์

1. ตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาด 5x5 ซม.
2. เปิดใช้งานเครื่อง Digital micrometer โดยกดปุ่ม ON เลื่อนปากวัดเข้าไปให้สุดแล้วกดปุ่ม Zero
3. จากนั้นทำการวัด แล้วอ่านค่าที่ได้บนหน้าจอแสดงผล
4. ทำการวัด 5 ซ้ำการทดลอง และหาค่าเฉลี่ยความหนาของฟิล์มคิแตม

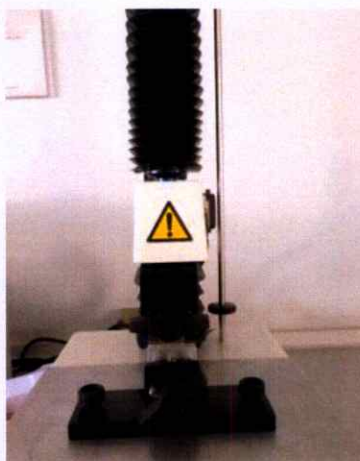


ภาพภาคผนวกที่ ข. 4 ไมโครมิเตอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น 103-137

ข. 7 ความสามารถในการต้านแรงดึงขาดและความสามารถในการยืดตัวของฟิล์มคิแตม (Tensile strength and Elongation)

ใช้วิธีการวิเคราะห์ตาม ASTM D 882 เป็นมาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงยืดของแผ่นฟิล์มและซีทพลาสติกบางที่มีความหนาน้อยกว่า 1 มม. หรือ 0.04 นิ้ว โดยตัดตัวอย่างฟิล์มให้มีขนาด

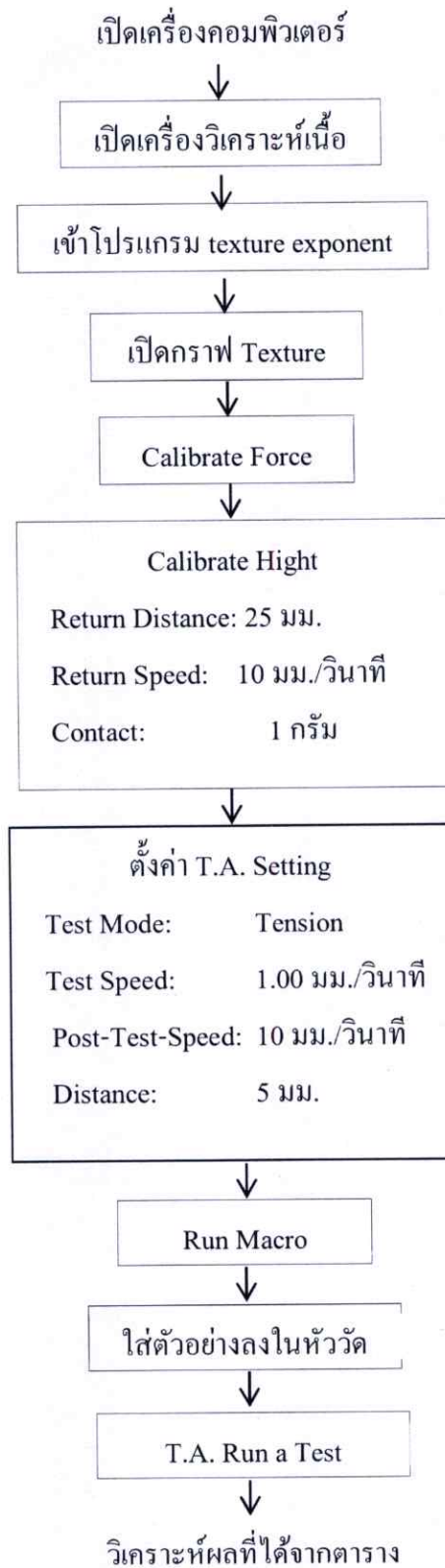
2x4 ซม. แล้วนำมาวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยเครื่องเปิดเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) รุ่น TA.XTPlus โดยใช้หัววัด A/TG



ภาพภาคผนวกที่ ข. 5 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส รุ่น TA.XTPlus



ภาพภาคผนวกที่ ข. 6 หัววัด A/TG



ภาพภาคผนวกที่ ข. 7 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านแรงดึงขาด
และความสามารถในการยึดตัวของฟิล์มคีแตม



ภาพภาคผนวกที่ ข. 8 ก่อนดิ่งแผ่นฟิล์มคิแตม



ภาพภาคผนวกที่ ข. 9 หลังจากดิ่งแผ่นฟิล์มคิแตมจนขาด

ข.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)

ศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์มคิแตมที่ผลิตได้ โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น LEO 1455 VP ประเทศเยอรมัน ที่กำลังขยาย 1000 เท่า



ภาพภาคผนวกที่ ข. 10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
ยี่ห้อ LEO รุ่น LEO 1455 VP ประเทศเยอรมัน

ข.9 ความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial activity)

1. การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1.1 Peptone water 0.1%

Peptone	1	กรัม
น้ำกลั่น	1	ลิตร

วิธีการเตรียม

ละลายให้เข้ากัน นำไปฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที

1.2 PCA

Tryptone	5	กรัม
Yeast extract	2.5	กรัม
Dextrose	1	กรัม
Agar	15	กรัม
น้ำกลั่น	1	ลิตร

วิธีการเตรียม

ละลายส่วนผสมต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยใส่วุ้นหลังสุด นำไปต้มแล้วคนด้วยพายสแตนเลส ตลอดเวลาเพื่อไม่ให้อาหารไหม้ที่ก้นภาชนะ เมื่อวุ้นละลายจนหมด จากนั้นนำอาหารเลี้ยงเชื้อขณะที่ยังร้อนอยู่บรรจุลงในขวดอาหารเลี้ยงเชื้อขวดละ 100 มล. แล้วนำไปฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที

2. วิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านจุลินทรีย์

โดยวางฟิล์มคีแตมทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อทำให้เกิดการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม (Contamination) จากนั้นนำฟิล์มคีแตมมาวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (Total viable count) โดยคัดแปลงวิธีการจาก Semi *et al.* (2009)

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำฟิล์ม 1 กรัม ใส่ลงในถุงพลาสติก จากนั้นใส่ Peptone water 0.1% 9 มล. แล้วนำถุงพลาสติกเข้าเครื่อง stomacher จะได้ตัวอย่างที่มีระดับเจือจางเป็น 1:10 หรือ 10^{-1}

2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด (Total viable count)

ปิเปตของผสมฟิล์มที่มีระดับเจือจางเป็น 10^{-1} (จากข้อ 2.1) 1 มล. ลงในจานเพาะเชื้อ



เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA (อุณหภูมิ 45°C) ลงในจานเพาะเชื้อ



เขย่าจานเพาะเชื้อให้ของผสมกระจายทั่ว แล้วปล่อยให้เย็นแข็งตัว



บ่มที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง



สังเกต โคลิที่เพิ่มขึ้น

ภาพภาคผนวกที่ ข. 11 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมด

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวพรพฐ อัดแ
วัน เดือน ปี เกิด	25 ตุลาคม 2537
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาประถมศึกษาตอนต้น-ตอนปลาย: โรงเรียนบางชั้น (ปลื้มวิทยานุสรณ์) สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น-ตอนปลาย: โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) 2 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2559
ประสบการณ์การทำงาน	นักศึกษาฝึกงาน บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ปัจจุบันทำงานอยู่ที่ บริษัท สีฟ้าฟู้ด จำกัด
และผลงานวิจัย	ตีพิมพ์บทความลงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรม ราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 เรื่อง: การศึกษาคุณสมบัติบางประการของฟิล์มคีแตม (Study on Some Properties of Chitam films)